

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-275020

(43)Date of publication of application : 08.10.1999

(51)Int.Cl.

H04B 10/14  
H04B 10/06  
H04B 10/04  
H04J 14/00  
H04J 14/02  
H04B 10/17  
H04B 10/16

(21)Application number : 10-070819

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 19.03.1998

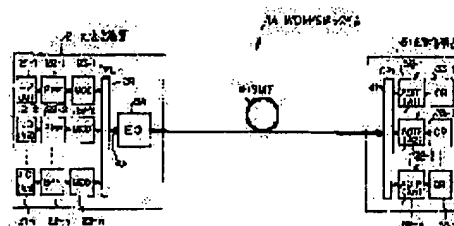
(72)Inventor : KAI TAKETAKA  
ONAKA HIROSHI

(54) WAVELENGTH MULTIPLEX OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM, DESIGN METHOD FOR LOSS DIFFERENCE COMPENSATION DEVICE FOR OPTICAL DEVICE USED FOR THE WAVELENGTH MULTIPLEX OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM AND BUILDUP METHOD FOR THE WAVELENGTH MULTIPLEX OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To send a wavelength multiplex optical signal in a broad wavelength band to a long distance by compensating the loss difference of an optical signal with each wavelength, produced in the wavelength multiplex optical signal with a transmission loss characteristic of wavelength dependence of an optical transmission line or a scattering compensation device itself.

**SOLUTION:** An optical transmission line 4, through which a wavelength multiplex optical signal with a broad wavelength band resulting from applying wavelength multiplexing to optical signals with many kinds of wavelength bands  $\lambda_1$ - $\lambda_n$  are transmitted, is provided with a loss difference compensation device 5A, that compensates a loss difference of the optical signals with the wavelength bands  $\lambda_1$ - $\lambda_n$  which are produced in the wavelength multiplex optical signal by the transmission loss characteristic of wavelength dependence of the optical transmission line 4.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-275020

(43) 公開日 平成11年(1999)10月8日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 4 B 10/14

H 0 4 B 9/00

S

10/06

E

10/04

J

H 0 4 J 14/00

14/02

審査請求 未請求 請求項の数26 O L (全 24 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-70819

(22) 出願日 平成10年(1998)3月19日

(71) 出願人 000003223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72) 発明者 甲斐 雄高

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 尾中 寛

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 真田 有

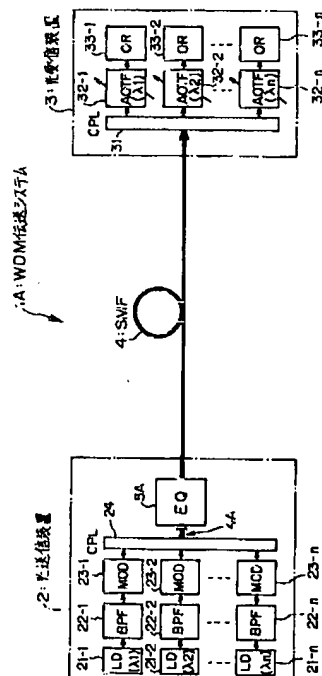
(54) 【発明の名称】 波長多重光伝送システム及び波長多重光伝送システムに使用される光デバイス用損失差補償器の設計方法並びに波長多重光伝送システムの構築方法

(57) 【要約】

光伝送路や分散補償器自体がもつ波長依存性の伝送損失特性により波長多重光信号に生じる各波長の光信号の損失差を補償して、広波長帯域の波長多重光信号を長距離伝送できるようにする。

【課題】

【解決手段】 多種類の波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の光信号が波長多重されて広波長帯域を有する波長多重光信号を伝送する光伝送路4に、その光伝送路4がもつ波長依存性の伝送損失特性により波長多重光信号に生じる各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 毎の光信号の損失差を補償する損失差補償器5Aを設ける。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 多種類の波長の光信号が波長多重されて広波長帯域を有する波長多重光信号を送送する光伝送路をそなえとともに、

該光伝送路に、該光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性により該波長多重光信号に生じる各波長毎の光信号の損失差を補償する損失差補償器が設けられていることを特徴とする、波長多重光伝送システム。

【請求項2】 該波長多重光信号が、該広波長帯域として1.55マイクロメートル帯を中心とした12ナノメートル以上の波長帯域を有していることを特徴とする、請求項1記載の波長多重光伝送システム。

【請求項3】 該損失差補償器が、該波長多重光信号の伝送距離に応じて生じる該損失差を補償すべく、該伝送距離に応じた損失差補償特性を有する光フィルタを用いて構成されていることを特徴とする、請求項1又は請求項2に記載の波長多重光伝送システム。

【請求項4】 複数種類の波長の光信号が波長多重された波長多重光信号を送送する光伝送路と、  
該光伝送路がもつ分散特性により該波長多重光信号に生じる分散を補償する分散補償器とをそなえとともに、  
該光伝送路に、該光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性と該分散補償器がもつ波長依存性の伝送損失特性とにより該波長多重光信号に生じる各波長毎の光信号の損失差を補償する損失差補償器が設けられていることを特徴とする、波長多重光伝送システム。

【請求項5】 該波長多重光信号が、所定波長帯域以上の広波長帯域を有していることを特徴とする、請求項4記載の波長多重光伝送システム。

【請求項6】 該波長多重光信号が、該広波長帯域として1.55マイクロメートル帯を中心とした12ナノメートル以上の波長帯域を有していることを特徴とする、請求項5記載の波長多重光伝送システム。

【請求項7】 該損失差補償器が、該分散補償器の前段に設けられていることを特徴とする、請求項4～6のいずれかに記載の波長多重光伝送システム。

【請求項8】 該損失差補償器が、該波長多重光信号の伝送距離に応じて生じる該損失差を補償すべく、該伝送距離に応じた損失差補償特性を有する光フィルタを用いて構成されていることを特徴とする、請求項4～7のいずれかに記載の波長多重光伝送システム。

【請求項9】 複数種類の波長の光信号が波長多重された波長多重光信号を送送する光伝送路と、  
該波長多重光信号を増幅する光増幅器とをそなえとともに、  
該光伝送路に、該光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性と該光増幅器がもつ波長依存性の増幅損失特性とにより該波長多重光信号に生じる各波長毎の光信号の損失差を補償する損失差補償器が設けられていることを特徴とする、波長多重光伝送システム。

【請求項10】 該波長多重光信号が、所定波長帯域以上の広波長帯域を有していることを特徴とする請求項9記載の波長多重光伝送システム。

【請求項11】 該波長多重光信号が、該広波長帯域として1.55マイクロメートル帯を中心とした12ナノメートル以上の波長帯域を有していることを特徴とする、請求項10記載の波長多重光伝送システム。

【請求項12】 該損失差補償器が、該波長多重光信号の伝送距離に応じて生じる該損失差を補償すべく、該伝送距離に応じた損失差補償特性を有する光フィルタを用いて構成されていることを特徴とする、請求項9～11のいずれかに記載の波長多重光伝送システム。

【請求項13】 複数種類の波長の光信号が波長多重された波長多重光信号を送送する光伝送路と、  
該光伝送路がもつ分散特性により該波長多重光信号に生じる分散を補償する分散補償器と、  
該波長多重光信号を増幅する光増幅器とをそなえとともに、

該光伝送路に、該光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性と該分散補償器がもつ波長依存性の伝送損失特性と該光増幅器がもつ波長依存性の増幅損失特性とにより該波長多重光信号に生じる各波長毎の光信号の損失差を補償する損失差補償器が設けられていることを特徴とする、波長多重光伝送システム。

【請求項14】 該波長多重光信号が、所定波長帯域以上の広波長帯域を有していることを特徴とする請求項13記載の波長多重光伝送システム。

【請求項15】 該波長多重光信号が、該広波長帯域として1.55マイクロメートル帯を中心とした12ナノメートル以上の波長帯域を有していることを特徴とする、請求項14記載の波長多重光伝送システム。

【請求項16】 該損失差補償器が、該分散補償器の前段に設けられていることを特徴とする、請求項13～15のいずれかに記載の波長多重光伝送システム。

【請求項17】 該損失差補償器が、該波長多重光信号の伝送距離に応じて生じる該損失差を補償すべく、該伝送距離に応じた損失差補償特性を有する光フィルタを用いて構成されていることを特徴とする、請求項13～16のいずれかに記載の波長多重光伝送システム。

【請求項18】 複数種類の波長の光信号を波長多重した波長多重光信号を送送する波長多重光伝送システムに使用される光デバイスについての情報に対応して、当該光デバイスがもつ波長依存性の損失特性により該波長多重光信号に生じる各波長毎の光信号の損失差を補償する損失差補償器の損失差補償特性についての情報を分類したメニューテーブルを用意しておき、

該メニューテーブルに基づいて、該波長多重光伝送システムに使用する光デバイスに対応する損失差補償特性を選択し、当該損失差補償特性を有する損失差補償器を設計することを特徴とする、波長多重光伝送システムに使用

用される光デバイス用損失差補償器の設計方法。

【請求項19】 該光デバイスが、該波長多重光信号を伝送する光伝送路であり、

該メニューテーブルにおいて、

該光伝送路についての情報に対応して、当該光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性により生じる該損失差を補償する損失差補償特性についての情報を分類することを特徴とする、請求項18記載の波長多重光伝送システムに使用される光デバイス用損失差補償器の設計方法。

【請求項20】 該光デバイスが、該波長多重光信号を伝送する光伝送路と、当該光伝送路がもつ分散特性により該波長多重光信号に生じる分散を補償する分散補償器であり、

該メニューテーブルにおいて、

該光伝送路についての情報と該分散補償器についての情報との組に対応して、該光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性と該分散補償器がもつ波長依存性の伝送損失特性とにより生じる該損失差を補償する損失差補償特性についての情報を分類することを特徴とする、請求項18記載の波長多重光伝送システムに使用される光デバイス用損失差補償器の設計方法。

【請求項21】 該光デバイスが、該波長多重光信号を伝送する光伝送路と、該波長多重光信号を増幅する光増幅器であり、

該メニューテーブルにおいて、

該光伝送路についての情報と該光増幅器についての情報との組に対応して、該光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性と該光増幅器がもつ波長依存性の増幅損失特性とにより生じる該損失差を補償する損失差補償特性についての情報を分類することを特徴とする、請求項18記載の波長多重光伝送システムに使用される光デバイス用損失差補償器の設計方法。

【請求項22】 該光デバイスが、該波長多重光信号を伝送する光伝送路と、当該光伝送路がもつ分散特性により該波長多重光信号に生じる分散を補償する分散補償器と、該波長多重光信号を増幅する光増幅器であり、

該メニューテーブルにおいて、

該光伝送路についての情報と該分散補償器についての情報と該光増幅器についての情報との組に対応して、該光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性と該分散補償器がもつ波長依存性の伝送損失特性と該光増幅器がもつ波長依存性の増幅損失特性とにより生じる該損失差を補償する損失差補償特性についての情報を分類することを特徴とする、請求項18記載の波長多重光伝送システムに使用される光デバイス用損失差補償器の設計方法。

【請求項23】 該波長多重光信号が、所定波長帯域以上の広波長帯域を有していることを特徴とする請求項18～22のいずれかに記載の波長多重光伝送システムに使用される光デバイス用損失差補償器の設計方法。

【請求項24】 該波長多重光信号が、該広波長帯域と

して1.55マイクロメートル帯を中心とした12ナノメートル以上の波長帯域を有していることを特徴とする、請求項23記載の波長多重光伝送システムに使用される光デバイス用損失差補償器の設計方法。

【請求項25】 該メニューテーブルにおいて、該光デバイスについての情報と該損失差補償特性とを該波長多重光信号の伝送距離に応じて分類しておき、該メニューテーブルに基づいて、該波長多重光信号の伝送距離に応じた光デバイスに対応する損失差補償特性を選択することを特徴とする、請求項18～24のいずれかに記載の波長多重光伝送システムに使用される光デバイス用損失差補償器の設計方法。

【請求項26】 複数種類の波長の光信号を波長多重した波長多重光信号を伝送する波長多重光伝送システムに使用される光デバイスについての情報に対応して、当該光デバイスがもつ波長依存性の損失特性により該波長多重光信号に生じる各波長毎の光信号の損失差を補償する損失差補償器の損失差補償特性についての情報を分類したメニューテーブルを用意しておき、

該メニューテーブルに基づいて、該波長多重光伝送システムに使用する光デバイスに対応する損失差補償特性を選択し、当該損失差補償特性を有する損失差補償器を設計し、該光デバイスと上記の設計した損失差補償器とを用いて波長多重光伝送システムを構築することを特徴とする、波長多重光伝送システムの構築方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】（目次）

発明の属する技術分野

従来の技術

発明が解決しようとする課題（図26～図28）

課題を解決するための手段

発明の実施の形態

（A）第1実施形態の説明（図1～図16）

（B）第2実施形態の説明（図17～図20）

（C）第3実施形態の説明（図21～図23）

（D）第4実施形態の説明（図24、図25）

（E）その他

発明の効果

【0002】

【発明の属する技術分野】本発明は、複数種類の波長の光信号を波長多重して伝送する波長多重光伝送システム及び波長多重光伝送システムに使用される光デバイス用損失差補償器の設計方法並びに波長多重光伝送システムの構築方法に関する。

【0003】

【従来の技術】近年、将来のマルチメディアネットワークの実現のために、さらなる大容量の通信を行なえる光通信システムが要求されている。これまでに、通信の超大容量化を実現する多重化（伝送）方式として、時分割多重(TDM:Time-Division Multiplexing)方式、光領域で

の時分割多重(OTDM:Optical Time-Division Multiplexing)方式、波長多重(WDM:Wavelength-Division Multiplexing)方式等の研究が盛んに行なわれている。

【0004】これらのうち、WDM伝送方式は、エルビウムドープファイバ増幅器(EDFA)の広い利得帯域を活用して光レベルでのクロスコネクタや分岐・挿入を行なうことで、異種サービスの多重化を柔軟に行なえる光波ネットワークの実現手段として期待されている。ここで、通常、WDM伝送システム(波長多重光伝送システム)では、EDFA等の光増幅器をもった光中継器を使用する光伝送路の伝送能力(伝送可能距離)に応じて複数段接続することにより、WDM信号の長距離伝送を可能にすることがよく行なわれる。

【0005】しかしながら、周知のように、EDFA等の光増幅器には波長依存性の増幅(利得)特性があるため、各波長フラットなパワーをもつWDM信号を送信したとしても、受信端では受信WDM信号の各波長のパワーに損失差が生じてしまう。例えば、零分散特性が $1.3\mu\text{m}$ (マイクロメートル)のシングルモードファイバ(SMF)を伝送路に用い、この伝送路に $1.55\mu\text{m}$ 帯を中心とする光波をWDM伝送するシステムでは、光増幅器が、使用波長帯域〔例えば、 $1530\sim 1570\text{nm}$ (ナノメートル)〕において長波長ほどその利得が大きくなるという特性(右上がりの傾斜)を有しているため、受信端において短波長側の光信号ほどそのパワーが劣化し、最悪の場合、短波長側の光信号を受信することができなくなってしまう。

【0006】そこで、このような光増幅器がもつ利得特性によりWDM信号に生じる各波長毎の損失差を等化(補償)するために、様々な技術がこれまでに提案されている。例えば、特開平9-43647号公報に示される技術では、光ファイバの曲げによる曲げ損失を利用して光増幅器(EDFA)の利得特性を平坦化しようとしている。即ち、光ファイバを曲げ加工した場合に長波長側ほど曲げ損失が大きくなることを利用して、光増幅器の利得特性とは略逆特性の透過特性をもった光フィルタを付加し、このフィルタによって光増幅器の利得特性を平坦化するのである。

【0007】しかし、この技術では、光ファイバの曲げを利用するため、直線的(線形)な透過特性をもった光フィルタしか作成できない。実際の光増幅器の利得特性は線形ではないので、当然、このような光フィルタでは効果的に光増幅器の利得特性を平坦化することはできない。そこで、非線形の透過特性を実現できる光フィルタとして例えばパブリフェロー・エタロン・フィルタを用いて、より効果的に光増幅器の利得特性を平坦化できるようにした技術も提案されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】ところで、現状のWDM伝送システムに使用される光ファイバ(SMF)に

は、その材料である石英ガラスに固有の損失として、紫外吸収、赤外吸収などの吸収損失やレイリー散乱などの散乱損失(図26参照)があり、これらの損失のうち主にレイリー散乱と赤外吸収に依存して、伝送損失特性100が生じている。そして、図26における $1.55\mu\text{m}$ 帯を拡大すると図27に示すようになっており、この図27から分かるように、使用波長帯域101において損失差(右下がりの傾斜)が生じている。

【0009】このため、各波長のパワーがフラットなWDM信号を光ファイバに入力しても、光ファイバ自体がもつ波長依存性の伝送損失特性により、受信端では、例えば図28に示すように、各チャネル(波長)の受信レベルに差(右上がりの傾斜)が生じてしまい、各チャネルの伝送特性(S/N比)にバラツキが生じてしまうことになる。

【0010】このような現象は、使用波長帯域が狭く(例えば、1～数波長のWDM信号)、伝送距離も短い〔例えば、数十km(キロメートル)〕場合には、図27における使用波長帯域101を伝送損失特性100の傾斜がほとんど無い部分に設定すれば回避できるので、あまり問題とはならないが、使用波長帯域101を広くとる場合には、どうしても伝送損失特性100に傾斜が存在するため伝送距離に応じた損失差が生じてしまい非常に重要な問題となる。

【0011】特に、近年は、より多くの波長(例えば16波以上)をより遠くへ(例えば数百km)伝送することが要求されてきているため、このような光ファイバ自体がもつ伝送損失特性100により生じる損失差を無視することができなくなってくる。また、SMFを伝送路に用いて、 $1.55\mu\text{m}$ 帯の光波による光伝送(WDM伝送)を行なう場合は、SMFがもつ分散特性によりWDM信号に生じる分散を分散補償ファイバ(DCF:Dispersion Compensation Fiber)を用いてキャンセルする手法がよく用いられるが、このDCFもSMFと同様に石英ガラスを基本材料とした光ファイバであるため、SMFと同等の伝送損失特性をもっている。

【0012】このため、DCFを用いる場合には、SMFだけでなく、DCFにおいてもSMFと同様の波長依存性の損失差が発生し、SMFとDCFの双方の伝送損失特性により、SMFのみの場合に比べて、各チャネル毎のS/N比に、より大きな差が生じてしまう。例えば、WDM信号の使用波長帯域101が $1530\sim 1570\text{nm}$ であった場合、SMFの使用波長帯域での損失差が $0.005\text{dB/km}$ であれば、 $80\text{km}$ 伝送すると、 $0.4\text{dB}$ の傾斜(損失差)が発生することになる。しかも、SMFにおける分散劣化をDCFを用いて補償する場合、SMF $80\text{km}$ に対して、 $-1000\sim -1200\text{ps/nm}$ のDCFを必要とする。これは、ファイバ長で $10\text{km}$ 程度に相当し、約 $1\text{dB}$ の損失差が生じる。

【0013】従って、SMF及びDCFを線形中継で数段（例えば、3、4段）接続すれば、SMFとDCFとにより、計5～6 dB程度の損失差が生じることになり、各チャネルのS/N比が大幅に劣化してしまい、最悪の場合、短波長側の波長（チャネル）を受信することができなくなってしまう。このように、WDM伝送システムにSMFやDCFを用いる場合には、そのSMFやDCF自体がもつ波長依存性の伝送損失特性を考慮して上記損失差を補償することが重要であり、特に、16波以上の光波を波長多重使用波長帯域が12 nm以上のWDM信号を伝送する際には、上記の伝送損失特性の傾斜が顕著に現れるので、このような補償を行なうことは非常に重要になる。

【0014】しかしながら、前述した従来のWDM伝送システムでは、受信端でのWDM信号の損失差が主に光増幅器がもつ波長依存性の利得特性により生じるものとして、あくまでも光増幅器の利得特性を平坦化することに主眼を置いており、SMFやDCFがもつ伝送損失特性については何ら考慮していないため、光増幅器ではWDM信号の出力パワーを各波長でフラットにすることができても、その後のSMFやDCF上の伝送距離によっては、やはり、各チャネルの伝送特性（S/N比）にバラツキが生じてしまう。

【0015】本発明は、以上のような課題に鑑み創案されたもので、光増幅器だけでなく、光伝送路や分散補償器自体がもつ波長依存性の伝送損失特性により波長多重光信号に生じる各波長の光信号の損失差を補償して、広波長帯域の波長多重光信号を長距離伝送することが可能な波長多重光伝送システムを提供することを目的とする。

【0016】また、本発明は、このような波長多重光伝送システムに使用される光デバイスがもつ損失特性により生じる損失差を補償する損失差補償器を容易に設計するための、波長多重光伝送システムに使用される光デバイス用損失差補償器の設計方法を提供することも目的とし、さらには、この設計方法により設計された損失差補償器を用いて波長多重光伝送システムを構築する波長多重光伝送システムの構築方法を提供することも目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】このため、本発明の波長多重光伝送システムは、多種類の波長の光信号が波長多重されて広波長帯域を有する波長多重光信号を伝送する光伝送路をそなえとともに、この光伝送路に、光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性により上記の波長多重光信号に生じる各波長毎の光信号の損失差を補償する損失差補償器が設けられていることを特徴としている（請求項1）。

【0018】ここで、上記の損失差補償器は、特に、上記の波長多重光信号が上記の広波長帯域として1.55

マイクロメートル帯を中心とした12ナノメートル以上の波長帯域を有している場合に適用されるのがよい（請求項2）。また、上記の損失差補償器は、上記の波長多重光信号の伝送距離に応じて生じる損失差を補償すべく、前記の伝送距離に応じた損失差補償特性を有する光フィルタを用いて構成されていてもよい（請求項3）。

【0019】さらに、本発明の波長多重光伝送システムは、複数種類の波長の光信号が波長多重された波長多重光信号を伝送する光伝送路と、この光伝送路がもつ分散特性により上記の波長多重光信号に生じる分散を補償する分散補償器とをそなえとともに、上記の光伝送路に、その光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性と上記の分散補償器がもつ波長依存性の伝送損失特性とにより上記波長多重光信号に生じる各波長毎の光信号の損失差を補償する損失差補償器が設けられていることを特徴としている（請求項4）。

【0020】ここで、上記の損失差補償器は、上記の波長多重光信号が、所定波長帯域以上の広波長帯域を有している場合に適用されるのが有効で（請求項5）、特に、前記の広波長帯域として1.55マイクロメートル帯を中心とした12ナノメートル以上の波長帯域を有している場合に有効である（請求項6）。なお、上記の損失差補償器は、上記の分散補償器の前段に設けられるのがよい（請求項7）。また、上記の損失差補償器は、上記の波長多重光信号の伝送距離に応じて生じる損失差を補償すべく、前記の伝送距離に応じた損失差補償特性を有する光フィルタを用いて構成されていてもよい（請求項8）。

【0021】さらに、本発明の波長多重光伝送システムは、複数種類の波長の光信号が波長多重された波長多重光信号を伝送する光伝送路と、上記の波長多重光信号を増幅する光増幅器とをそなえとともに、上記の光伝送路に、その光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性と上記の光増幅器がもつ波長依存性の増幅損失特性とにより上記の波長多重光信号に生じる各波長毎の光信号の損失差を補償する損失差補償器が設けられていることを特徴としている（請求項9）。

【0022】ここで、この損失差補償器も、上記の波長多重光信号が、所定波長帯域以上の広波長帯域を有している場合に適用されるのが有効で（請求項10）、特に、前記の広波長帯域として1.55マイクロメートル帯を中心とした12ナノメートル以上の波長帯域を有している場合に有効である（請求項11）。また、上記の損失差補償器も、上記の波長多重光信号の伝送距離に応じて生じる損失差を補償すべく、前記の伝送距離に応じた損失差補償特性を有する光フィルタを用いて構成されていてもよい（請求項12）。

【0023】また、本発明の波長多重光伝送システムは、複数種類の波長の光信号が波長多重された波長多重光信号を伝送する光伝送路と、この光伝送路がもつ分散

特性により上記の波長多重光信号に生じる分散を補償する分散補償器と、上記の波長多重光信号を増幅する光増幅器とをそなえとともに、上記の光伝送路に、その光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性と上記の分散補償器がもつ波長依存性の伝送損失特性と上記の光増幅器がもつ波長依存性の増幅損失特性とにより上記の波長多重光信号に生じる各波長毎の光信号の損失差を補償する損失差補償器が設けられていることを特徴としている（請求項13）。

【0024】ここで、この損失差補償器も、上記の波長多重光信号が、所定波長帯域以上の広波長帯域を有している場合に適用されるのが有効で（請求項14）、特に、前記の広波長帯域として1.55マイクロメートル帯を中心とした12ナノメートル以上の波長帯域を有している場合に有効である（請求項15）。なお、この場合、損失差補償器は、上記の分散補償器の前段に設けられるのがよい（請求項16）。また、この損失差補償器も、上記の波長多重光信号の伝送距離に応じて生じる損失差を補償すべく、前記の伝送距離に応じた損失差補償特性を有する光フィルタを用いて構成されていてもよい（請求項17）。

【0025】次に、本発明の波長多重光伝送システムに使用される光デバイス用損失差補償器の設計方法は、複数種類の波長の光信号を波長多重した波長多重光信号を伝送する波長多重光伝送システムに使用される光デバイスについての情報に対応して、当該光デバイスがもつ波長依存性の損失特性により上記の波長多重光信号に生じる各波長毎の光信号の損失差を補償する損失差補償器の損失差補償特性についての情報を分類したメニューテーブルを用意しておき、このメニューテーブルに基づいて、上記の波長多重光伝送システムに使用する光デバイスに対応する損失差補償特性を選択し、当該損失差補償特性を有する損失差補償器を設計することを特徴としている（請求項18）。

【0026】ここで、上記の光デバイスは、例えば、上記波長多重光信号を伝送する光伝送路であり、この場合は、上記のメニューテーブルにおいて、前記光伝送路についての情報に対応して、当該光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性により生じる損失差を補償する損失差補償特性についての情報を分類することになる（請求項19）。

【0027】また、上記の光デバイスは、上記波長多重光信号を伝送する光伝送路と当該光伝送路がもつ分散特性により上記の波長多重光信号に生じる分散を補償する分散補償器であってもよく、この場合は、上記のメニューテーブルにおいて、上記の光伝送路についての情報と分散補償器についての情報との組に対応して、上記の光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性と分散補償器がもつ波長依存性の伝送損失特性とにより生じる損失差を補償する損失差補償特性についての情報を分類する（請

求項20）。

【0028】さらに、上記の光デバイスは、上記波長多重光信号を伝送する光伝送路と、上記の波長多重光信号を増幅する光増幅器であってもよく、この場合は、上記のメニューテーブルにおいて、上記の光伝送路についての情報と光増幅器についての情報との組に対応して、上記の光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性と光増幅器がもつ波長依存性の増幅損失特性とにより生じる損失差を補償する損失差補償特性についての情報を分類する（請求項21）。

【0029】また、上記の光デバイスは、上記波長多重光信号を伝送する光伝送路と、当該光伝送路がもつ分散特性により上記の波長多重光信号に生じる分散を補償する分散補償器と、上記波長多重光信号を増幅する光増幅器であってもよく、この場合は、上記のメニューテーブルにおいて、上記の光伝送路についての情報と分散補償器についての情報と光増幅器についての情報との組に対応して、上記の光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性と分散補償器がもつ波長依存性の伝送損失特性と光増幅器がもつ波長依存性の増幅損失特性とにより生じる損失差を補償する損失差補償特性についての情報を分類する（請求項22）。

【0030】なお、上記の損失差補償器も、上記の波長多重光信号が、所定波長帯域以上の広波長帯域を有している場合に適用されるのが有効で（請求項23）、特に、1.55マイクロメートル帯を中心とした12ナノメートル以上の波長帯域を有している場合に有効である（請求項24）。また、上記のメニューテーブルでは、上記の光デバイスについての情報と損失差補償特性とを上記波長多重光信号の伝送距離に応じて分類していてもよく、この場合は、このメニューテーブルに基づいて、波長多重光信号の伝送距離に応じた光デバイスに対応する損失差補償特性を選択する（請求項25）。

【0031】次に、本発明の波長多重光伝送システムの構築方法は、複数種類の波長の光信号を波長多重した波長多重光信号を伝送する波長多重光伝送システムに使用される光デバイスについての情報に対応して、当該光デバイスがもつ波長依存性の損失特性により上記波長多重光信号に生じる各波長毎の光信号の損失差を補償する損失差補償器の損失差補償特性についての情報を分類したメニューテーブルを用意しておき、このメニューテーブルに基づいて、上記の波長多重光伝送システムに使用する光デバイスに対応する損失差補償特性を選択し、当該損失差補償特性を有する損失差補償器を設計し、上記の光デバイスと設計した損失差補償器とを用いて波長多重光伝送システムを構築することを特徴としている（請求項26）。

【0032】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

## (A) 第1実施形態の説明

図1は本発明の第1実施形態としての波長多重光(WDM)伝送システムの構成を示すブロック図で、この図1に示すように、本WDM伝送システム1A(以下、単に「システム1A」ということがある)は、光送信装置2と光受信装置3とをそなえとともに、これらの光送信装置2と光受信装置3とを接続する光伝送路としての光ファイバ(シングルモードファイバ: SMF)4をそなえて構成されている。

【0033】ここで、光送信装置2は、 $n$ 種類( $n$ は2以上の自然数)の波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ (チャンネル1, 2,  $\dots$ ,  $n$ に相当する)の光信号を波長多重した波長多重光信号(以下、WDM信号という)を送信するもので、本実施形態では、各波長 $\lambda_i$ (ただし、 $i=1 \sim n$ )の光信号(以下、「光信号 $\lambda_i$ 」と表記することがある)の送信パワーがフラットな特性をもつようにWDM信号が生成されて送信されるようになっている。

【0034】このため、本光送信装置2は、基本的に、図1に示すように、光源(レーザダイオード: LD)21-1 $\sim$ 21- $n$ 、バンドパスフィルタ(BPF)22-1 $\sim$ 22- $n$ 、変調器(MOD)23-1 $\sim$ 23- $n$ 及び $n:1$ の光カプラ24をそなえて構成されている。なお、符号5Aで示すものは光等化フィルタ(損失差補償器)で、その機能については後述する。

【0035】ここで、各LD21- $i$ は、それぞれ、各波長 $\lambda_i$ の光信号を生成するものであり、各BPF22- $i$ は、対応するLD21- $i$ で生成された波長 $\lambda_i$ をもった光信号のみを透過するものであり、変調器23- $i$ は、対応するBPF22- $i$ を透過してきた光信号 $\lambda_i$ に対して所望の変調処理を施すものであり、光カプラ24は、これらの各変調器23- $i$ で変調された各光信号 $\lambda_i$ を合波(波長多重)しWDM信号としてSMF4へ向けて出力するものである。なお、上記のBPF22- $i$ は、LD21- $i$ で生成される光信号 $\lambda_i$ が十分安定している場合や、光カプラ24の性能が良い場合などには設けられないこともある。

【0036】一方、光受信装置3は、SMF4を通じて伝送されてくるWDM信号を各波長 $\lambda_i$ の光信号毎に波長分離して受信するもので、このために、受信WDM信号を $n$ 分岐する光カプラ31、この光カプラ31で分岐されたWDM信号のうち受信すべき光信号 $\lambda_i$ のみを選択(透過)する光フィルタ32- $i$ 及び対応する光フィルタ32- $i$ を透過してきた光信号 $\lambda_i$ を受信する光受信器(OR:Optical Receiver)33- $i$ をそなえて構成されている。

【0037】なお、ここでは、上記の光フィルタ32- $i$ として、供給されるRF(Radio Frequency)信号の周波数に応じて選択波長を変更することのできる音響光学チューナブルフィルタ(AOTF:Acousto-Optical Tun-

able Filter)が用いられている。また、このように分散補償ファイバ(DCF)を用いずにSMF4のみを用いたWDM伝送は、一般に、伝送距離が短い場合や2.5Gb/s以下の低速伝送を行なう(分散劣化の影響が小さい)場合に適用される。

【0038】このような構成により、本実施形態のWDMシステム1Aにおいても、基本的には、既存のWDMシステムと同様に、光送信装置2において $n$ 種類の波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の各光信号を波長多重したWDM信号をSMF4を通じて伝送し、光受信装置3において受信したWDM信号を各波長 $\lambda_i$ の光信号に波長分離して受信することができる。

【0039】しかしながら、このままでは、前述したように、SMF4に波長依存性の伝送損失特性(伝送損失の傾斜:図26及び図27参照)があるため、光送信装置2から各波長 $\lambda_i$ の送信パワーがフラットなWDM信号を送信しても、光受信装置3では、WDM信号を光カプラ31、AOTF32- $i$ にて波長分離したあとの各波長 $\lambda_i$ の光信号の受信パワーに差(損失差)が生じてしまい、各波長 $\lambda_i$ (チャンネル $i$ )のS/N比にバラツキが生じる。

【0040】このS/N比のバラツキは、波長多重度 $n$ が多くなる(つまり、WDM信号の使用波長帯域が広がる)ほど、また、WDM信号の伝送距離(この場合は、SMFの長さ)Lが長くなるほど、顕著に現れるので、波長多重度 $n$ や伝送距離Lによっては、一部(一般に短波長側)のチャンネルの信号品質(S/N比)が光受信器33- $i$ の受信感度を下回るほど大幅に劣化してしまい正常に受信できない場合がある。

【0041】具体的には、WDM信号の使用波長帯域を1.55 $\mu$ m(マイクロメートル)帯を中心としたM(nm:ナノメートル)とすると、このWDM信号を約3600/M(km)以上伝送したときに、SMF4がもつ上記伝送損失特性により、上述したような現象が生じることが分かっている。例えば、1波長当たりの使用波長帯域を0.8nmとして、16波長(16種類の光信号)を波長多重した場合は、WDM信号の使用波長帯域Mが約12nmとなるので、このWDM信号を約3600/12=300km以上伝送すると一部のチャンネルが受信できなくなり、32波長を波長多重した場合は、WDM信号の使用波長帯域Mが約25nmとなるので、このWDM信号を3600/25=144km以上伝送すると一部のチャンネルが受信できなくなる。

【0042】そこで、本実施形態では、このようなS/N比のバラツキを抑制すべく、図1に示すように、光送信装置2に、SMF4がもつ波長依存性の伝送損失特性によりSMF4の長さ(WDM信号の伝送距離)Lに応じて生じる各波長 $\lambda_i$ 毎の光信号の損失差を補償(平坦化)する損失差補償器[光等化フィルタ(受動素子):EQ]5Aが設けられている。



【0043】ここで、この損失差補償器5A（以下、損失差補償デバイス5Aといたり光等化フィルタ5Aといたりすることがある）には、上記の伝送距離Lにに応じた損失差補償特性を有するものを用いる。具体的には、本実施形態では、光受信装置3で受信されるWDM信号の各波長 $\lambda_i$ 毎の光信号の受信パワーのバラツキ（傾斜特性）を平坦化するために受信パワーの傾斜特性とは逆特性の波長透過特性（以下、単に「透過特性」ということがある）をもつように設計したものをを用いる。

【0044】例えば、SMF4がもつ上記伝送損失特性により、光受信装置3でのWDM信号の受信パワーに右上がりの傾斜（つまり、短波長側ほど受信パワーが小さい）が生じる場合には、短波長側ほどWDM信号の透過量が多い透過特性（右下がりの傾斜）をもつように設計したものをを用いる。これにより、光等化フィルタ5Aを通過した各波長 $\lambda_i$ の光パワーは右下がりの傾斜をもつことになるが、SMF4に右上がりの傾斜の伝送損失特性があるので、光受信装置3では、上記の各傾斜が相殺されてWDM信号の受信パワーは結果的に各波長 $\lambda_i$ でフラットな特性となる。

【0045】具体的に、この光等化フィルタ5Aは、本実施形態では、例えば図2に示すように、光サーキュレータ（光方向性結合器）6と、各波長 $\lambda_i$ の光信号の反射量が右上がりの傾斜特性（つまり、短波長側ほど反射光量が多い反射特性）をもった光反射型のファイバブラッググレーティング（FBG）7を形成した光ファイバ8とを用いることにより、上記の透過特性が実現されている。

【0046】即ち、SMF4を伝送されてくるWDM信号は、光サーキュレータ6で光ファイバ8側に分岐され、FBG7で上記の反射特性に応じて各波長 $\lambda_i$ で異なる量（ここでは、短波長側ほど多い反射光量）が反射されたのち、光サーキュレータ6を通じて、再度、SMF4に入力されるので、光等化フィルタ5Aとしては、右下がりの傾斜の透過特性をもつことになる。

【0047】ところで、上記のFBG7（以下、グレーティング7ということがある）は、例えば図3に示すように、紫外線（UV光）を回折格子（位相マスク）9を用いて干渉（ $\pm 1$ 次の回折光の干渉）させたときにできる干渉パターンを光ファイバ8に照射して、光ファイバ8のコア10の部分に、上記のUV光の干渉パターンに応じた屈折率変化を生じさせることによって形成される。なお、形成されるグレーティング7のピッチA（図4参照）は、使用する回折格子9のピッチを変化させることにより変化する。

【0048】このようなグレーティング7を形成された光ファイバ8は、例えば図6に示すように、一部の波長の光信号を反射する反射特性を有することになるが、通常、グレーティング7のピッチAが小さいほど（屈折率変化が大きいほど）反射率が高くなり、グレーティング

の長さ $L'$ （図4参照）が長くなるほど反射波長帯域が狭くなる。

【0049】従って、上記のピッチAもしくは長さ $L'$ が異なる複数のグレーティング7を光ファイバ8に形成すれば、任意の（直線状のみならず曲線状の）反射特性をもった光ファイバ8を製作することができる。そこで、本実施形態では、例えば図5に示すように、長さ $L'$ が異なる複数のグレーティング7-1～7-N（Nは自然数）を適宜の組み合わせで形成した光ファイバ8を用いることにより、上記の透過特性をもった光等化フィルタ5Aを実現している。

【0050】なお、上記の透過特性をもった光等化フィルタ5Aは、例えば図7及び図9に示すように、光透過型のFBG7'としてグレーティング長 $L'$ の異なる複数のグレーティング7'-1～7'-Nを適宜の組み合わせでSMF4に直接形成することによっても実現することができる。ただし、この場合は、FBG7'での反射光によってSMF4を伝送するWDM信号に影響を与えないよう、図8及び図9に示すように、グレーティング7'-1～7'-Nをそれぞれ斜めに形成しておく。これにより、反射光は逆戻りせずSMF4のクラッド11から染み出して外部へ散乱するので、反射光がWDM信号に干渉することがなく、リターンロスが大きくなることできる。

【0051】また、このようにFBG7'をSMF4に直接形成すれば、別の光ファイバにFBG7'を形成したグレーティングファイバをSMF4に融着して介装する場合とは異なり、融着部分（スプライス）が生じないので、光パワーのロスを減らすことが可能となる。さらに、上記の光等化フィルタ5Aは、例えば図10及び図12に示すように、ファブリペローエタロンフィルタ12を用いることによっても実現できるし、図11に示すように、誘電体多層膜フィルタ13を用いることによっても実現できる。

【0052】即ち、ファブリペローエタロンフィルタ12には、図12に示すように、屈折率の異なる複数のエタロン（石英ガラスを厚さ数十 $\mu\text{m}$ に研磨したもの）122の適用数や設置角度を変えることにより、非球面レンズ121間の透過光量が波長 $\lambda_i$ 毎に変化するという特性があるので、この特性を利用してエタロンフィルタ12の透過特性を調整すれば、上記透過特性（損失差補償特性）をもった光等化フィルタ5Aを実現することができる。なお、図12において、符号123で示すものは、自然放出光（ASE）抑圧用のバンドパスフィルタ（BPF）である。

【0053】一方、誘電体多層膜フィルタ13には、屈折率の異なる複数のフィルム状の誘電体の使用数に応じて透過光量を波長 $\lambda_i$ 毎に変化させることができるという特性があるので、この特性を利用して誘電体多層膜フィルタ13の透過特性を調整すれば、同様に、上記透過

特性（損失差補償特性）をもった光等化フィルタ5Aを実現することができる。

【0054】さらに、上記の光等化フィルタ5Aは、例えば図13に示すように、音響光学チューナブルフィルタ（AOTF）14を用いても実現することができる。AOTF14は、或る周波数をもったRF信号を入力すると、それに対応した波長 $\lambda_i$ の光を選択（透過）することができるとともに、入力RF信号のパワーを制御することにより、その透過率を制御することが可能なフィルタである。また、複数のRF信号を入力すれば複数の波長 $\lambda_i$ の光の透過を制御することも可能である。

【0055】このようなAOTF14を損失差補償デバイス5Aとして使用する場合は、透過特性の半値幅を広くとり（図13中の符号15参照）、透過特性の肩（図13中の符号16参照）を利用することにより、透過特性に傾斜をもったフィルタ（傾斜フィルタ）を構成することができる。透過特性の傾斜を自在に変化させるためには、上記透過特性を形成する中心周波数をもったRF信号とは別に、上記の変化に応じた周波数をもったRF信号を入力すればよい。

【0056】ただし、このとき、上記中心周波数に近い周波数のRF信号を入力するとコヒーレントビートノイズが発生してしまうため、AOTF14をいくつかの光伝搬モードで波長選択可能な構成にして、中心周波数から或る程度離れたRF信号を入力する（それぞれ違ったモードで励振させる）。AOTF14のこのような特性を利用することで、任意の透過特性をもった損失差補償デバイス5Aを実現することができる。

【0057】また、このAOTF14は、複数のRF信号を入力することにより複数の波長 $\lambda_i$ の光信号の透過を同時に制御することが可能なため、例えば図14に示すように、使用波長帯域（例えば、1530nm～1570nm）近辺にのみ透過特性（図14中の符号17参照）を形成して任意の傾斜をもたせることによって、上記の損失差補償デバイス5Aを実現することができる。

【0058】なお、AOTF14は、入力RF信号のパワーを変化させることにより透過率を自由に制御することが可能なため、WDM信号の伝送距離Lが異なり、損失差の傾斜特性が異なる場合でも、それに応じて入力RF信号のパワーを変化させて透過率を変更することによって、任意の伝送距離Lに対応することができる。従って、後述するように、伝送距離Lに応じて透過特性を最適設計したフィルタを用意する必要がなく、AOTF14のみで任意の伝送距離Lに応じた損失差補償を行なうことができ、用意すべき損失差補償デバイス5Aの種類を削減することが可能である。

【0059】以上のように、本実施形態のWDM伝送システム1Aによれば、SMF4に、SMF4がもつ波長依存性の伝送損失特性によりWDM信号の伝送距離（S

MF4の長さ）Lに応じて生じる各波長 $\lambda_i$ 毎の光信号の損失差を補償するために、伝送距離Lに応じた損失差補償特性（透過特性）を有する光等化フィルタ（損失差補償器）5Aを設けているので、光送信装置2と光受信装置3との間の全伝送路（システム全体）の損失特性を波長無依存にすることができる。

【0060】従って、各波長 $\lambda_i$ 毎の受信レベルのバラツキを常に最小限に抑えることができるので、広波長帯域のWDM信号を長距離伝送することが可能なシステム1Aを極めて容易に実現することができ、WDM伝送を利用した各種通信のサービス性を大幅に向上することができる。特に、上記の損失差は、1.5 $\mu$ m帯を中心として16波以上の光信号を波長多重したWDM信号（使用波長帯域が12nm以上）を伝送する場合に顕著に現れ、伝送距離Lによっては無視できなくなるので、将来の32波長以上の光信号を波長多重したWDM信号の伝送の実現を考えると、上記光等化フィルタ5Aによる損失差補償は極めて有効である。

【0061】また、具体的に、上記の光等化フィルタ5Aは、FBG7、7'、エタロンフィルタ12、誘電体多層膜フィルタ13などを用い、WDM信号の伝送距離Lに応じた損失差補償特性（透過特性）を有して構成されるので、後述するプリエンファシスなどの特別な制御を必要とせずにSMF4に設けるだけで、上記損失差補償を実現することができるので、システム1Aの簡素化にも寄与している。

【0062】なお、上記の光等化フィルタ5Aは、システム1A内のどこに設けてもよい（例えば図15に示すように、光受信装置3におけるSMF4の出力部4Bに設けてもよい）が、SMF4には非線形効果がありWDM信号の入力パワーに制限がある（例えば、0～+3dB）ので、図1中に示すように、光送信装置2におけるSMF4の入力部4Aに設けるのがよい。

【0063】即ち、光等化フィルタ5A自体のロス（ただし、波長依存性は無い）が+1dBあると仮定すると、光カプラ24の出力部分のWDM信号のパワーを+1～+4dBの範囲にしておけば、光等化フィルタ5A自体のロス分によりWDM信号のパワーがSMF4への入力適正範囲となるので、光アッテネータ等を用いてWDM信号のパワーをわざわざ下げなくても済む。

【0064】ところで、上述したようにSMF4がもつ波長依存性の伝送損失特性により生じる損失差は、SMF4の長さ（WDM信号の伝送距離）Lによって異なるため、これに応じて使用する損失差補償デバイス5Aの補償特性も最適設計する必要がある。しかし、SMF4の長さLに応じて全て個別に損失差補償デバイス5Aの補償特性を設計することは非常に困難である。

【0065】そこで、本実施形態では、例えば図16に示すように、WDM伝送システム1Aに使用すべき損失差補償デバイス5Aの損失差補償特性（透過特性）を、

例えば40km用, 60km用, 80km用というように、WDM信号の伝送距離(SMF4の長さ)L毎に分類(メニュー化)しておく。即ち、WDM伝送システム1Aに使用される光デバイスとしてのSMF4についての情報に対応して、SMF4がもつ波長依存性の損失特性によりSMF4の長さに応じてWDM信号に生じる上記損失差を補償する損失差補償デバイス(光等化フィルタ)5Aの損失差補償特性についての情報を分類したメニューテーブル18Aを用意しておく。

【0066】これにより、システム1Aに使用(設計)すべき光等化フィルタ5Aの品種を削減する(最小限に抑える)ことができる。そして、WDM伝送システム1Aの構築時には、このメニューテーブル18Aに基づいて、そのWDM伝送システム1Aに使用すべきSMF4(SMF4の長さ)に対応する透過特性を選択し、選択した透過特性を有する光等化フィルタ5Aを設計する。これにより、使用SMF4に応じた光等化フィルタ5Aを大量生産することができるので、光等化フィルタ5Aの製造コストを削減することができ、ひいては、構築するWDM伝送システム1Aのコストの削減をも図ることができる。

【0067】そして、上述のようにして設計された光等化フィルタ5Aを用いてWDM伝送システム1Aを構築すれば、使用SMF4により生じる各波長 $\lambda_i$ 毎の光信号の損失差を補償することが可能なWDM伝送システム1Aを極めて容易に、且つ、低コストで構築することができる。なお、上記のメニュー化において、光等化フィルタ5Aの透過特性を例えば40km~59km用, 60km~79km用, 80km~99km用というように分類して、1種類の光等化フィルタ5Aの透過特性により対応可能な伝送距離Lに幅をもたせれば、さらに必要な光等化フィルタ5Aの品種を削減することが可能となる。

【0068】また、上記のメニュー化については、できるだけ品種を削減したいという要求がある一方で、システム構成に柔軟性をもたせるためにSMF4の長さの項目を増やしたいという要望や伝送特性上の問題の無いレベルまで損失差を平坦化する必要があることなど、トレードオフの関係にあるため、最適なメニュー数が存在する。従って、SMF4の項目は必ずしも上記のように20km単位とはならない。

【0069】(B)第2実施形態の説明

図17は本発明の第2実施形態としての波長多重光(WDM)伝送システムの構成を示すブロック図であるが、この図17に示すWDM伝送システム1B(以下、単に「システム1B」ということがある)は、第1実施形態にて前述したものとそれぞれ同様の光送信装置2と光受信装置3とをそなえるほか、光送信装置2からのWDM信号を光増幅中継する光増幅中継器41をそなえ、光送信装置2と光増幅中継器41との間、光増幅中継器41

間、光増幅中継器41と光受信装置3との間がそれぞれSMF4により接続された構成となっている。

【0070】なお、本第2実施形態においても、第1実施形態と同様に、WDM信号は、16波以上の光信号が波長多重されて1.55マイクロメートル帯を中心とした12ナノメートル以上の波長帯域を有しているものとする。そして、この図17に示すように、本実施形態の光増幅中継器41には、分散補償ファイバ(DCF:分散補償器)42や光増幅器43などが設けられている。

【0071】ここで、DCF42は、SMF4がもつ分散特性によりWDM信号に生じる分散(分散劣化)を補償するためのもので、一般に、SMF4と同等の材質(石英ガラスなど)の光ファイバを用いて構成される。なお、このDCF42は、通常、伝送距離(この場合は中継区間(SMF4の長さ))が長い(数十km以上)場合や、伝送速度が高い(例えば10Gb/s程度)場合に、上記の分散劣化が無視できなくなるために設けられる。

【0072】また、光増幅器43は、次の光増幅器中継器41への伝送に必要なパワーにまで受信WDM信号の送信パワーを増幅するもので、例えば、エルビウムドープファイバ型の光増幅器(EDFA)が用いられる。ただし、この光増幅器43は、利得等化器などを用いてその増幅(利得)特性が波長無依存のフラットな特性となる(利得特性が波長 $\lambda_i$ に依存しない)ように設計しておくものとする。

【0073】ところで、SMF4の分散量とそのSMF4の分散量に対して必要なDCF42の分散補償量とは1対1の関係にあるため、使用するSMF4の長さが決まれば一義的に必要とされるDCF量が決まる(80kmのSMF4には-1500ps/nm分のDCF42を使用するといった具合)。ここで、DCF42は、SMF4と同等の材質からなるためDCF42にもSMF4と同様の波長依存性の伝送損失特性がある。従って、各中継区間毎にSMF4とDCF42とにより生じる損失差は或る程度見当がつく。

【0074】そこで、本実施形態では、このようにSMF4がもつ波長依存性の伝送損失特性とDCF42がもつ波長依存性の伝送損失特性とによりWDM信号に生じる各波長 $\lambda_i$ 毎の光信号の損失差を各中継区間で補償するための損失差補償デバイス5Bを、光増幅中継器45内のSMF4部分にそれぞれ設けている。即ち、本実施形態の損失差補償デバイス5Bは、SMF4とDCF42の両伝送損失特性により生じる上記損失差を各中継区間毎にまとめて補償するようになっているのである。これにより、本実施形態においても、全伝送路(システム全体)の損失特性を波長無依存にすることができる。ただし、この図17では最後の中継区間にDCF42が無いので、第1実施形態にて前述した損失差補償デバイス5Aが光受信装置3に設けられている。

【0075】ここで、具体的に、上記の損失差補償デバイス5Bは、各中継区間の伝送距離毎にSMF4により生じる損失差とDCF42により生じる損失差とを合わせた損失差を補償するように、中継区間の伝送距離(WDM信号の伝送距離)に応じた損失差補償特性を有するように構成される。そして、この損失差補償特性も、第1実施形態にて前述したように、光反射型のFBG7や光透過型のFBG7'(図2、図7参照)、エタロンフィルタ12(図10、図12参照)、誘電体多層膜フィルタ13(図11参照)、AOTF14(図13、図14参照)などを用い、それぞれ、その波長透過特性(図18参照)を最適設計することにより実現することができる。

【0076】なお、反射型のFBF7(図2参照)を用いて光等化フィルタ5を構成する場合は、例えば図19に示すように、光サーキュレータ6に接続される光ファイバ8にDCF42を配置し、その先にFBG7を形成しておけば、WDM信号がDCF42を2回通過することになるので、必要なDCF量を半分にすることが可能である。

【0077】また、上記の損失差補償デバイス5Bは、基本的に、SMF4のどの位置に配置してもよいが、通常、DCF42に入力パワーに上限があり(0~+3dBm程度)、WDM信号のDCF42への入力パワーが上記の上限を超えないようにする必要があるため、DCF42の前段に設けるのがよい。これにより、システム上の光等化フィルタ5Bのロスによる劣化を考慮する必要がなくなる。

【0078】例えば、光増幅器43が1チャンネル(ch)当たり+5dBmまで増幅する能力があったとしても、DCF42の入力パワーを+1dBm/chまで落とさなければならないので、その分、励起光パワーを落としてDCF42への入力パワーをわざわざ下げる必要がある。しかし、光等化フィルタ5Bのロスが3dBmだったとして、この光等化フィルタ5BをDCF42の前段に配置すれば、光増幅器43の出力を $1+3=4$ (dBm/ch)にするだけで、システム上、光等化フィルタ5Bを挿入することによるロスを考慮しなくても済む。

【0079】つまり、図17、図18に示すように、光等化フィルタ5BをDCF42の前段に設ければ、DCF42の前段でWDM信号のパワーを抑えることが可能となり、WDM信号のパワーを抑圧するための専用の回路を設けることなく、DCF42へのWDM信号の入力パワーが高すぎるために分散補償に悪影響を与えるといった現象を防止することができるのである。従って、WDM信号に対する分散補償および損失差補償をそれぞれ安定して行なうことができ、システムの信頼性の向上に大いに寄与している。

【0080】以上のように、本第2実施形態のWDM伝

送システム1Bによれば、SMF4に、SMF4とDCF42とがそれぞれもつ波長依存性の伝送損失特性によりWDM信号に生じる各波長 $\lambda_i$ 毎の光信号の損失差を各中継区間で補償するために、SMF4+DCF42(伝送距離)に応じた損失差補償特性(透過特性)を有する光等化フィルタ5Bを各中継区間に設けているので、各中継区間で、SMF4とDCF42とによりWDM信号に生じる上記の損失差をキャンセル(補償)することができ、光送信装置2と光受信装置3との間の全伝送路(システム全体)の損失特性を波長無依存にすることができる。

【0081】従って、各中継区間でDCF42を用いてSMF4の分散を補償するタイプのシステム1Bにおいても、常に、各波長毎の受信レベルのバラツキを最小限に抑えることができるので、WDM信号をより高い信号品質で長距離伝送することが可能となり、この場合も、WDM伝送を利用した各種通信のサービス性を大幅に向上することができる。

【0082】そして、本実施形態においても、上記の損失差は、 $1.55\mu\text{m}$ 帯を中心として16波以上の光信号を波長多重したWDM信号(使用波長帯域が12nm以上)を伝送する場合に顕著に現れ、WDM信号の伝送距離によっては無視できなくなるので、将来の32波長以上の光信号を波長多重したWDM信号の伝送の実現を考えると、上記光等化フィルタ5Bによる損失差補償は極めて有効である。

【0083】また、上記の光等化フィルタ5Bも、FBG7、7'、エタロンフィルタ12、誘電体多層膜フィルタ13などを用い、WDM信号の伝送距離(SMF4+DCF42)に応じた損失差補償特性(透過特性)を有するように構成されるので、後述するプリエンファシスなどの特別な制御を必要とせず、SMF4に設けるだけで、上記損失差補償を実現することができ、この場合も、WDM伝送システム1Bの簡素化に寄与している。

【0084】なお、SMF4により生じる損失差とDCF42により生じる損失差とは個別に補償してもよいが(つまり、SMF4用の光等化フィルタ5BとDCF42用の光等化フィルタ5Bを設ける)、上述した実施形態のようにSMF4及びDCF42により生じる上記損失差を各中継区間毎にまとめて補償した方が経済的であり、光増幅中継器45も小型化でき、且つ、光等化フィルタ5Bの挿入ロスも削減することができる。

【0085】ところで、上述したようにSMF4とDCF42とがそれぞれもつ波長依存性の伝送損失特性により生じる損失差も、SMF4の長さによって異なるため、これに応じて使用する損失差補償デバイス5Bの損失差補償特性も最適設計する必要がある。そこで、本実施形態では、例えば図20に示すように、SMF4の長さをメニュー化することにより、DCF42もメニュー化し、さらには各中継区間毎に使用する損失差補償デバイ

ス5Bもメニュー化する。

【0086】即ち、WDM伝送システム1Bに使用される光デバイスとしてのSMF4とDCF42についての情報に対応して、SMF4がもつ波長依存性の損失特性とDCF42がもつ波長依存性の損失特性とによりWDM信号に生じる上記損失差を補償しうる損失差補償デバイス（光等化フィルタ）5Bの損失差補償特性（波長透過特性）についての情報を分類したメニューテーブル18Bを用意する。

【0087】これにより、この場合も、システム1Bに使用（設計）すべき光等化フィルタ5Bの品種を削減する（最小限に抑える）ことができる。そして、WDM伝送システム1Bの構築時には、このメニューテーブル18Bに基づいて、そのWDM伝送システム1Bに使用すべきSMF4（SMF4の長さ）とDCF42とに対応する透過特性を選択し、選択した透過特性を有する光等化フィルタ5Bを設計する。これにより、使用SMF4及びDCF42に応じた光等化フィルタ5Bを大量生産することができる。

【0088】従って、光等化フィルタ5Bの製造コストを削減することができ、ひいては、構築するWDM伝送システム1Bのコストの削減をも図ることができる。なお、この場合、光増幅器43については、その利得特性がフラットな特性になるように作ればよい。光増幅器43の利得特性をSMF4の長さ毎に最適設計する必要はない。従って、光増幅器43の品種も削減されている。

【0089】そして、上述のようにして設計された光等化フィルタ5Bを用いてWDM伝送システム1Bを構築すれば、使用SMF4及びDCF42により生じる各波長 $\lambda_i$ 毎の光信号の損失差を補償することが可能なWDM伝送システム1Bを極めて容易に、且つ、低コストで構築することができる。特に、本実施形態では、上記のメニュー化を或る一定区間（中継区間）毎に行なっているので、ユーザのニーズに応じた柔軟なシステム構築を行なえる。

【0090】なお、この場合も、上記のメニュー化において、光等化フィルタ5Aの透過特性を例えば40km～59km用、60km～79km用、80km～99km用というように分類して、1種類の光等化フィルタ5Aの透過特性により対応可能な伝送距離Lに幅をもたせれば、さらに必要な光等化フィルタ5Aの品種を削減することが可能となる。また、SMF4の項目についても、必ずしも上記のように20km単位とはならない。

【0091】（C）第3実施形態の説明

図21は本発明の第3実施形態としての波長多重光（WDM）伝送システムの構成を示すブロック図であるが、この図21に示すWDM伝送システム1Cは、第1実施形態にて前述したものと同様の光送信装置2と光受信装置3とをそなえるほか、光送信装置2からのWDM信号

を光増幅中継する光増幅中継器44をそなえ、光送信装置2と光増幅中継器44との間、光増幅中継器44間、光増幅中継器44と光受信装置3との間がそれぞれSMF4により接続された構成となっている。

【0092】なお、本第3実施形態においても、第1実施形態と同様に、WDM信号は、16波以上の光信号が波長多重されて1.55マイクロメートル帯を中心とした12ナノメートル以上の波長帯域を有しているものとする。そして、この図21に示すように、本実施形態の光増幅中継器44には、光増幅器43'や損失差補償器（EQ）5C（以下、損失差補償デバイス5Cといたり、光等化フィルタ5Cといたりすることがある）などが設けられている。なお、この光増幅中継器44には、第2実施形態にて前述したようなDCF42は設けられていない。つまり、この図21に示すWDM伝送システム1Cは、中継区間が短く（数km）、もしくは、WDM信号の伝送速度が低く（例えば2.5Gb/s以下）、SMF4の分散をDCF42によって補償する必要が無い場合に適用される構成を表している。

【0093】ここで、光増幅器43'は、第2実施形態にて前述したものと同様に、次の光増幅器中継器44への伝送に必要なパワーにまで受信WDM信号の送信パワーを増幅するもので、例えば、エルビウムドープファイバ型の光増幅器（EDFA）が用いられる。ただし、この光増幅器43'は、第2実施形態にて前述したものと異なり、その増幅（利得）特性が波長無依存となるように最適設計されておらず、例えば図22に示すように、波長依存性の利得（損失）特性を有しているものとする。なお、この図22中の複数の利得特性はそれぞれ使用するエルビウムドープファイバの長さに応じた特性（長いほど高い利得が得られる）を表している。

【0094】また、損失差補償デバイス5Cは、SMF4に設けられて、そのSMF4がもつ波長依存性の伝送損失特性と光増幅器43'がもつ波長依存性の損失特性とによりWDMに生じる各波長 $\lambda_i$ 毎の光信号の損失差を補償するためのものである。即ち、本実施形態の損失差補償デバイス5Cは、SMF4と光増幅器43'との両方に波長依存性の損失特性があることを考慮して、SMF4と光増幅器43'とがそれぞれもつ波長依存性の損失特性により生じるWDM信号の損失差を各中継区間毎にまとめて補償するようになっているのである。これにより、本実施形態においても、全伝送路（システム全体）の損失特性を波長無依存にすることができる。ただし、この図21では最後の中継区間に光増幅器43'が無いので、第1実施形態にて前述した損失差補償デバイス5Aが光受信装置3に設けられている。

【0095】ここで、具体的に、上記の損失差補償デバイス5Cは、SMF4の長さ（中継距離）が決まれば一義的に必要とされる光増幅器43'の利得特性が決まり、各中継区間の距離毎にSMF4により生じる損失差

と光増幅器43'により生じる損失差とをあわせた損失差が決まるので、この損失差を補償しうるように、WDM信号の伝送距離（この場合は中継距離）に応じた損失差補償特性を有して構成される。

【0096】そして、この損失差補償特性も、第1実施形態にて前述したように、光反射型のFBG7や光透過型のFBG7'（図2、図7参照）、エタロンフィルタ12（図10、図12参照）、誘電体多層膜フィルタ13（図11参照）、AOTF14（図13、図14参照）などを用い、それぞれ、その波長透過特性（図18参照）を最適設計することにより実現することができる。

【0097】以上のように、本第3実施形態のWDM伝送システム1Cによれば、SMF4に、SMF4と光増幅器43'とがそれぞれもつ波長依存性の損失特性によりWDM信号に生じる各波長 $\lambda_i$ 毎の光信号の損失差を補償しうる損失差補償特性（透過特性）をもった光等化フィルタ5Cを各中継区間に設けているので、SMF4と光増幅器43'とにより生じる上記の損失差を各中継区間で一括してキャンセルすることができる。

【0098】従って、光送信装置2と光受信装置3との間の全伝送路の損失特性を波長無依存にすることができるので、光増幅中継器44によりWDM信号を適宜に増幅しながら伝送するシステム1Cにおいても、常に、各波長毎の受信レベルのバラツキを最小限に抑えることができ、これにより、この場合も、WDM伝送を利用した各種通信のサービス性を大幅に向上することができる。

【0099】そして、本実施形態においても、上記の損失差は、1.55 $\mu$ m帯を中心として16波以上の光信号を波長多重したWDM信号（使用波長帯域が12nm以上）を伝送する場合に顕著に現れ、WDM信号の伝送距離によっては無視できなくなるので、将来の32波長以上の光信号を波長多重したWDM信号の伝送の実現を考えると、上記光等化フィルタ5Cによる損失差補償は極めて有効である。

【0100】また、上記の光等化フィルタ5Cも、FBG7、7'、エタロンフィルタ12、誘電体多層膜フィルタ13などを用い、WDM信号の伝送距離（ここでは、中継距離）に応じた損失差補償特性（透過特性）を有するように構成されるので、後述するプリエンファシスなどの特別な制御を必要とせず、SMF4に設けるだけで、上記損失差補償を実現することができ、WDM伝送システム1Cの簡素化にも寄与している。

【0101】ところで、上述したようにSMF4と光増幅器43'とがそれぞれもつ波長依存性の損失特性により生じる上記損失差も、SMF4の長さによって異なるため、これに応じて使用する損失差補償デバイス5Cの損失差補償特性も最適設計する必要がある。そこで、本実施形態では、例えば図23に示すように、SMF4の長さをメニュー化することにより、光増幅器43'もメ

ニュー化し、さらには各中継区間毎に使用する損失差補償デバイス5Cもメニュー化する。

【0102】即ち、WDM伝送システム1Cに使用される光デバイスとしてのSMF4と光増幅器43'とについての情報に対応して、SMF4がもつ波長依存性の損失特性と光増幅器43'がもつ波長依存性の損失特性とによりWDM信号に生じる上記損失差を補償しうる損失差補償デバイス（光等化フィルタ）5Cの損失差補償特性（透過特性）についての情報を分類したメニューテーブル18Cを用意する。

【0103】これにより、この場合も、システム1Cに使用（設計）すべき光等化フィルタ5Cの品種を削減する（最小限に抑える）ことができる。そして、WDM伝送システム1Cの構築時には、このメニューテーブル18Cに基づいて、そのWDM伝送システム1Cに使用すべきSMF4（SMF4の長さ）と光増幅器43'とに対応する透過特性を選択し、選択した透過特性を有する光等化フィルタ5Cを設計する。これにより、使用SMF4及び光増幅器43'に応じた光等化フィルタ5Cを大量生産することができるので、光等化フィルタ5Cの製造コストを削減することができ、ひいては、構築するWDM伝送システム1Cのコストの削減をも図ることができる。

【0104】そして、上述のようにして設計された光等化フィルタ5Cを用いてWDM伝送システム1Cを構築すれば、使用SMF4及び光増幅器43'により生じる各波長 $\lambda_i$ 毎の光信号の損失差を補償することが可能なWDM伝送システム1Cを極めて容易に、且つ、低コストで構築することができる。また、本実施形態でも、上記のメニュー化を或る一定区間（中継区間）毎に行なっているので、ユーザのニーズに応じた柔軟なシステム構築を行なえる。

#### 【0105】(D)第4実施形態の説明

図24は本発明の第4実施形態としての波長多重光(WDM)伝送システムの構成を示すブロック図であるが、この図24に示すWDM伝送システム1Dは、第1実施形態にて前述したものと同様の光送信装置2と光受信装置3とをそなえるほか、光送信装置2からのWDM信号を光増幅中継する光増幅中継器45をそなえ、光送信装置2と光増幅中継器45との間、光増幅中継器45間、光増幅中継器45と光受信装置3との間がそれぞれSMF4により接続された構成となっている。

【0106】なお、本第3実施形態においても、第1実施形態と同様に、WDM信号は、16波以上の光信号が波長多重されて1.55マイクロメートル帯を中心とした12ナノメートル以上の波長帯域を有しているものとする。そして、この図24に示すように、本実施形態の光増幅中継器44には、光増幅器46、47やDCF42、損失差補償器(EQ)5D（以下、損失差補償デバイス5Dといたり、光等化フィルタ5Dといたりす

ることがある)などが設けられている。なお、このように光増幅器46、47間にDCF42が配置されたタイプの光増幅器は「インライン型光増幅器」と呼ばれる。

【0107】ここで、DCF42は、第2実施形態にて前述したものと同様に、SMF4がもつ分散特性によりWDM信号に生じる分散(分散劣化)を補償するためのもので、この場合も、SMF4と同等の材質(石英ガラスなど)の光ファイバを用いて構成されている。なお、このDCF42も、伝送距離〔この場合は中継区間(SMF4の長さ)〕が長い(数十km以上)場合や、伝送速度が高い(例えば10Gb/s程度)場合に、上記の分散劣化が無視できなくなるために設けられる。

【0108】また、光増幅器46、47は、それぞれ、次の光増幅器中継器45への伝送に必要なパワーにまで受信WDM信号の送信パワーを増幅するもので、ここでは、DCF42の非線形効果が大きく、DCF42への光入力パワーに制限があり、ロスもSMF4に比べて大きい。このように、光増幅器46、47を2段以上の構成にして、その間にDCF42を挟んだ構成になっている。つまり、「インライン型光増幅器」を用いる場合、SMF4、DCF42及び光増幅器46、47は全て1セットとして使用されることになる。

【0109】なお、これらの光増幅器46、47も、例えば、エルビウムドープファイバ型の光増幅器(EDFA)により構成される。また、これらの光増幅器46、47は、本実施形態においても、その利得特性が波長 $\lambda_i$ に対してフラットになるように最適設計されていない(波長依存性の利得(損失)特性を有している)ものとする。

【0110】そして、本実施形態の損失差補償デバイス5Dは、SMF4に設けられて、そのSMF4がもつ波長依存性の伝送損失特性と、DCF42がもつ波長依存性の伝送損失特性と、光増幅器46、47がもつ波長依存性の利得損失特性とによりWDM信号に生じる各波長 $\lambda_i$ 毎の光信号の損失差を補償するためのものである。

【0111】即ち、本実施形態の損失差補償デバイス5Dは、SMF4、DCF42及び光増幅器46、47の全てに波長依存性の損失特性があることを考慮して、SMF4、DCF42及び光増幅器46、47がそれぞれもつ波長依存性の損失特性により生じるWDM信号の損失差を各中継区間毎にまとめて補償するようになっているのである。これにより、本実施形態においても、全伝送路(システム全体)の損失特性を波長無依存にすることができる。ただし、この図21では最後の中継区間にDCF42及び光増幅器46、47が無いので、第1実施形態にて前述した損失差補償デバイス5Aが光受信装置3に設けられている。

【0112】ここで、具体的に、上記の損失差補償デバイス5Dは、SMF4の長さ(中継距離)が決まれば一義的に必要とされるDCF量及び光増幅器46、47の

利得特性がそれぞれ決まり、各中継区間の距離毎にSMF4により生じる損失差とDCF42により生じる損失差と光増幅器46、47により生じる損失差とをあわせた損失差が決まるので、この損失差を補償しうるように、WDM信号の伝送距離(中継距離)に応じた損失差補償特性を有するように構成される。

【0113】そして、この損失差補償特性も、第1実施形態にて前述したように、光反射型のFBG7や光透過型のFBG7'(図2、図7参照)、エタロンフィルタ12(図10、図12参照)、誘電体多層膜フィルタ13(図11参照)、AOTF14(図13、図14参照)などを用い、それぞれ、その波長透過特性(図18参照)を最適設計することにより実現することができる。

【0114】以上のように、本第4実施形態のWDM伝送システム1Dによれば、SMF4と光増幅器43'とがそれぞれもつ波長依存性の損失特性によりWDM信号に生じる各波長 $\lambda_i$ 毎の光信号の損失差を補償しうる損失差補償特性(透過特性)をもった光等化フィルタ5Cを、各中継区間を構成するSMF4に設けているので、SMF4とDCF42と光増幅器46、47とにより生じる上記の損失差を各中継区間で一括してキャンセルすることができる。

【0115】従って、この場合も、光送信装置2と光受信装置3との間の全伝送路の損失特性を波長無依存にすることができるので、各中継区間(光増幅中継器45)において、SMF4の分散をDCF42により補償するとともに、WDM信号を適宜に増幅しながら伝送するシステム1Dにおいても、常に、各波長毎の受信レベルのバラツキを最小限に抑えることができ、これにより、この場合も、WDM伝送を利用した各種通信のサービス性を大幅に向上することができる。

【0116】そして、本実施形態においても、上記の損失差は、1.55 $\mu$ m帯を中心として16波以上の光信号を波長多重したWDM信号(使用波長帯域が12nm以上)を伝送する場合に顕著に現れ、WDM信号の伝送距離によっては無視できなくなるので、将来の32波長以上の光信号を波長多重したWDM信号の伝送の実現を考えると、上記光等化フィルタ5Dによる損失差補償は極めて有効である。

【0117】また、上記の光等化フィルタ5Dも、FBG7、7'、エタロンフィルタ12、誘電体多層膜フィルタ13などを用い、WDM信号の伝送距離(ここでは、中継距離)に応じた損失差補償特性(透過特性)を有するように構成されるので、後述するプリエンファシスなどの特別な制御を必要とせず、SMF4に設けるだけで、上記損失差補償を実現することができ、WDM伝送システム1Dの簡素化にも寄与している。

【0118】ところで、光増幅中継器45は、使用する伝送路に応じて入力パワーが異なるため、入力ダイナミ

ックレンジやNF等を最適設計する必要がある。そこで、本実施形態では、例えば図25に示すように、光増幅器45、46に関しても、前述したSMF4、DCF42のメニュー化と同様にメニュー化しておく。また、SMF4とDCF42と光増幅器46、47とがそれぞれもつ波長依存性の損失特性により生じる上記損失差も、SMF4の長さによって異なるため、これに応じて使用する損失差補償デバイス5Dの損失差補償特性も最適設計する必要がある。そこで、この図25に示すように、各中継区間毎に使用する損失差補償デバイス5Dもメニュー化しておく。

【0119】即ち、WDM伝送システム1Dに使用される光デバイスとしてのSMF4、DCF42及び光増幅器46、47についての情報に対応して、SMF4がもつ波長依存性の損失特性とDCF42がもつ波長依存性の損失特性と光増幅器46、47がもつ波長依存性の損失特性とによりWDM信号に生じる上記損失差を補償しうる損失差補償デバイス（光等化フィルタ）5Dの損失差補償特性（透過特性）についての情報を分類したメニューテーブル18Dを用意しておく。

【0120】これにより、システム1Dに使用（設計）すべきSMF4、DCF42、光増幅器46、47、光等化フィルタ5Dの品種を削減する（最小限に抑える）ことができる。そして、WDM伝送システム1Dの構築時には、このメニューテーブル18Dに基づいて、そのWDM伝送システム1Dに使用すべきSMF4（SMF4の長さ）、DCF42及び光増幅器46、47に対応する透過特性を選択し、選択した透過特性を有する光等化フィルタ5Dを設計する。これにより、使用SMF4に応じた光等化フィルタ5Dを大量生産することができ、従って、光等化フィルタ5Dの製造コストを削減することができ、ひいては、構築するWDM伝送システム1Dのコストの削減をも図ることができる。

【0121】そして、上述のようにして設計された光等化フィルタ5Dを用いてWDM伝送システム1Dを構築すれば、使用SMF4、DCF42及び光増幅器46、47により生じる各波長 $\lambda_i$ 毎の光信号の損失差を補償することが可能なWDM伝送システム1Dを極めて容易に、且つ、低コストで構築することができる。また、本実施形態でも、上記のメニュー化を或る一定区間（中継区間）毎に行なっているため、ユーザのニーズに応じた柔軟なシステム構築を行なえる。

【0122】（E）その他

なお、上述した各実施形態では、伝送距離〔SMF4（中継区間）の長さ〕に応じて、WDM信号に生じる損失差の特性（傾斜）が変わるため、伝送距離に応じて、損失差補償デバイス5A～5Dの補償特性をメニュー化している（つまり、損失差補償デバイス5A～5Dは伝送距離に応じた補償特性を有している）が、本発明はこれに限定されず、例えば、SMF4の品質や性能、使用

波長帯域などに応じて損失差補償デバイス5A～5Dの補償特性をメニュー化することも可能である。

【0123】また、上述した第2～第4実施形態では、各中継区間毎に損失差補償デバイス5B～5Dを設けて、各中継区間毎に損失差補償を行なうようになっているが、例えば、全中継区間に使用されるSMF4やDCF42などの光デバイスの数も考慮して、或る中継区間（もしくは、光送信装置2、光受信装置3）に1つだけ損失差補償デバイスを設けて、全伝送路の損失特性の波長依存性を一括して補償できるようにしてもよい。

【0124】さらに、上述した第2～第4実施形態では、WDM信号の波長帯域（使用波長帯域）が12nm以上の広波長帯域である場合について説明したが、本発明はこれに限定されず、基本的に、使用波長帯域がどのような波長帯域であっても、前述したように損失差補償デバイス5B～5Dの補償特性（透過特性）を最適設計すれば、上記と同様の作用効果が得られる。

【0125】また、上述した各実施形態では、WDM伝送システム1A～1Dに使用される光デバイスとして、SMF4やDCF42、光増幅器43（43'、46、47）などを例にしたが、本発明はこれに限定されず、その他の光デバイスに対しても、上述した各実施形態と同様の損失差補償やメニュー化を適用することが可能である。

【0126】さらに、上述した各実施形態では、損失差補償デバイス5A～5Dによる波長依存性の損失差補償を行なう場合について述べたが、この損失差補償は次のような手法によって行なうことも可能である。

（1）プリエンファシスを利用する方法

即ち、送信側（光送信装置2）において、SMFやDCF、光増幅器がもつ波長依存性の損失特性によりWDM信号に生じる損失差の特性（傾斜）と逆特性になるように、予めWDM信号の送信パワーを各波長 $\lambda_i$ 毎に調整する（プリエンファシス）ことによっても、上記損失差を補償することが可能である。この手法（プリエンファシス）は、通常、光増幅器でのゲインチルトを補償しきれない場合によく用いられる手法であるが、SMF+DCF、SMF+光増幅器、もしくはSMF+DCF+光増幅器の組み合わせにより生じる波長依存性の損失差をまとめて補償するために適用された例はない。

【0127】例えば、或る区間のSMF+DCFの損失が、短波長>長波長（右上がり）であったとする。送信側では、予め短波長側の送信パワー>長波長側の送信パワーというように各波長毎に送信パワーに強弱をつけてWDM信号を送信する。受信端（光受信装置3）でちょうど各波長 $\lambda_i$ の光信号パワーが平坦になるように送信パワーを各波長 $\lambda_i$ 毎に調整することで、新たにフィルタを挿入する必要もなく、光増幅器の増幅特性を変える必要もなく、一様な伝送特性を確保することが可能である。



【0128】ここで、送信側での送信パワーの制御は、LD21-i(図1参照)に印加するバイアス電流値を調整したり、各波長 $\lambda_i$ 毎に用意された光可変減衰器(アッテネータ:ATT)の減衰度を調整したりすることによって実現できる。ただ、このプリエンファシスでは、事前に伝送路の特性を把握しておく必要がある。つまり、どの程度、短波長側の送信パワーを上げて、どの程度、長波長側の送信パワーを下げるかなどの情報を事前に測定しておき、その測定結果に基づいて各波長の送信パワーを設定する必要がある。

【0129】そこで、例えば、中継区間や受信端に、光スペクトルモニタを配置し、伝送路上のWDM信号のパワー状態を随時モニタし、そのモニタ結果を送信側のLD制御回路、もしくは光可変減衰器(ATT)用の制御回路にフィードバックをかけるようにすれば、伝送路の特性を事前に測定しなくても、自動的に、各波長 $\lambda_i$ の送信パワーを、上記損失差を補償するのに最適なパワーに制御することが可能となる。

【0130】(2)光増幅器のゲイン状態を利用する方法

EDFA等のWDM伝送用の光増幅器は、励起光出力パワーを変えるとその利得特性が変化する。例えば、励起光出力パワーを上げると右上がりの傾斜をもった(長波長側ほど高いゲインをもった)利得特性になり、逆に、励起光出力パワーを下げると右下がりの傾斜をもった(短波長側ほど高いゲインをもった)利得特性となる。

【0131】この現象を利用して、例えば、光増幅器において、予め利得特性がSMFがもつ損失特性、又は、SMF及びDCFがもつ各損失特性を合わせた損失特性、もしくは、SMF、DCF及び光増幅器がもつ各損失特性を合わせた損失特性とは逆の特性となるような励起状態にしておくことで、損失差補償デバイス5A~5Dを用いなくても、SMF、又は、SMF及びDCF、もしくは、SMF、DCF及び光増幅器によって生じる波長依存性の損失差を光増幅器によって能動的に補償することができる。

【0132】例えば、SMFの損失特性とDCFの損失特性とを合わせた損失特性が右上がりの傾斜特性(短波長側のロス>長波長側のロス)をもっている場合には、光増幅器の利得特性が右下がりの傾斜特性(短波長側のロス<長波長側のロス)になるように、励起光出力パワーを調整することによって、光増幅器のゲイン状態を制御すればよい。

【0133】このとき、予め、光増幅器内の制御回路のEEPROM等のメモリに、使用SMF及びDCFに応じた損失特性の傾斜の違いと、その傾斜を補償しうるゲイン状態とを対応付けて保存(メニュー化)しておき、使用SMF及びDCFに応じて、このメモリに保存しておいたゲイン状態を選択して、光増幅器のゲイン状態が選択したゲイン状態となるように励起光出力パワーを制

御すれば、1つの光増幅器で複数の傾斜の損失特性に対応することができる。

【0134】このように光増幅器のゲイン状態の制御を利用する場合は、損失差補償デバイス5A~5D等の光部品を新規に挿入する必要がないので、経済的で、且つ、光部品の挿入によるロスも軽減でき、システム設計上有効である。なお、上述のように光増幅器のゲイン状態は、エルビウムドープファイバ(EDF)にリン

(P)をドープすることによっても変化する(短波長側の利得が上がり、長波長側の利得が下がる)。この特性を利用して、予め光増幅器の利得特性をSMF又はSMF及びDCFの損失特性の傾斜とは逆の特性にしておくことで、SMF又はSMF及びDCFによって生じる損失差を光増幅器でキャンセルすることが可能である。なお、WDM信号の伝送距離(例えば、中継区間の長さ)が中継区間毎に異なるときには、リンのドープ量を調整して、中継区間毎に光増幅器をメニュー化しておけばよい。

【0135】そして、本発明は上述した実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施することができる。

【0136】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明の波長多重光伝送システムによれば、光伝送路に、その光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性により広波長帯域の波長多重光信号に生じる各波長毎の光信号の損失差を補償する損失差補償器が設けられているので、光伝送路の損失特性を波長無依存にすることができ、常に、各波長毎の受信レベルのバラツキを最小限に抑えることができる。従って、広波長帯域の波長多重光信号を長距離伝送することが可能なシステムを極めて容易に実現することができ、波長多重光伝送を利用した各種通信のサービス性を大幅に向上することができる(請求項1)。

【0137】ここで、上記の損失差は、少なくとも、上記の波長多重光信号が上記の広波長帯域として1.55マイクロメートル帯を中心とした12ナノメートル以上の波長帯域を有している場合に顕著に現れ、波長多重光信号の伝送距離によっては無視できなくなるので、このような場合に、上記の損失差補償器による損失差の補償を行なうことは極めて有効である(請求項2)。

【0138】また、この損失差補償器は、上記の波長多重光信号の伝送距離に応じて生じる損失差を補償すべく、前記伝送距離に応じた損失差補償特性を有する光フィルタを用いて構成すれば、上記損失差の補償のための特別な制御を必要とせず、光伝送路に設けるだけで、上記損失差の補償を実現することができるので、システムの簡素化を図ることができる(請求項3)。

【0139】さらに、本発明の波長多重光伝送システムによれば、光伝送路に、光伝送路と光伝送路の分散を補償する分散補償器とがそれぞれもつ波長依存性の伝送損

失特性により波長多重光信号に生じる各波長毎の光信号の損失差を補償する損失差補償器を設けているので、この場合も、システム全体の損失特性を波長無依存にすることができる。従って、損失差補償器を用いて光伝送路の分散を補償するタイプのシステムにおいても、常に、各波長毎の受信レベルのバラツキを最小限に抑えることができるので、WDM信号をより高い信号品質で長距離伝送することが可能となり、波長多重光伝送を利用した各種通信のサービス性を大幅に向上することができる（請求項4）。

【0140】ここで、上記の損失差は、上記の波長多重光信号が、所定波長帯域（例えば、1.55マイクロメートル帯を中心とした12ナノメートル）以上の広波長帯域を有している場合に顕著に現れ、波長多重光信号の伝送距離によっては無視できなくなるので、このような場合に、上記の損失差補償器による損失差の補償を行なうことは極めて有効である（請求項5、6）。

【0141】なお、上記の損失差補償器を分散補償器の前段に設ければ、分散補償器の前段（損失差補償器）で波長多重光信号のレベルを抑えることが可能となり、波長多重光信号のレベルを抑圧するための専用の回路を設けることなく、分散補償器への波長多重光信号の入力レベルが高すぎるために上記分散補償に悪影響を与えるといった現象を防止することができる。従って、波長多重光信号に対する分散補償および損失差補償をそれぞれ安定して行なうことができ、システムの信頼性の向上に大いに寄与する（請求項7）。

【0142】また、上記の損失差補償器も、上記の波長多重光信号の伝送距離に応じて生じる損失差を補償すべく、前記伝送距離に応じた損失差補償特性を有する光フィルタを用いて構成すれば、上記損失差の補償のための特別な制御を必要とせず、光伝送路に設けるだけで上記の光伝送路および分散補償器による損失差の補償を実現することができるので、システムの簡素化を図ることができる（請求項8）。

【0143】さらに、本発明の波長多重光伝送システムによれば、光伝送路に、その光伝送路と光増幅器とそれぞれもつ波長依存性の損失特性により波長多重光信号に生じる各波長毎の光信号の損失差を補償する損失差補償器を設けているので、この場合も、システム全体の損失特性を波長無依存にすることができる。従って、波長多重光信号を適宜に増幅しながら伝送するシステムにおいても、常に、各波長毎の受信レベルのバラツキを最小限に抑えることができ、この場合も、波長多重光伝送を利用した各種通信のサービス性を大幅に向上することができる（請求項9）。

【0144】ここで、上記の損失差も、上記の波長多重光信号が、所定波長帯域（例えば、1.55マイクロメートル帯を中心とした12ナノメートル）以上の広波長帯域を有している場合に顕著に現れ、波長多重光信号の

伝送距離によっては無視できなくなるので、このような場合に、上記の損失差補償器による損失差の補償を行なうことは極めて有効である（請求項10、11）。

【0145】また、上記の損失差補償器は、上記の光伝送路および光増幅器がもつ各損失特性を等化しうる等化特性を有するように構成すれば、上記損失差の補償のための特別な制御を必要とせず、光伝送路に設けるだけで、極めて容易に、上記の光伝送路および光増幅器による損失差の補償を実現することができる（請求項12）。

【0146】さらに、本発明の波長多重光伝送システムによれば、光伝送路に、その光伝送路、分散補償器および光増幅器がそれぞれもつ波長依存性の損失特性により波長多重光信号に生じる各波長毎の光信号の損失差を補償する損失差補償器を設けているので、この場合も、システム全体の損失特性を波長無依存にすることができる。従って、波長多重光信号を適宜に増幅しながら伝送するシステムにおいても、常に、各波長毎の受信レベルのバラツキを最小限に抑えることができるので、波長多重光信号を高い信号品質でより遠くへ伝送することが可能となり、やはり、波長多重光伝送を利用した各種通信のサービス性を大幅に向上することができる（請求項13）。

【0147】ここで、上記の損失差も、上記の波長多重光信号が、所定波長帯域（特に、1.55マイクロメートル帯を中心とした12ナノメートル）以上の広波長帯域を有している場合に顕著に現れ、波長多重光信号の伝送距離によっては無視できなくなるので、このような場合に、上記の損失差補償器による損失差の補償を行なうことは極めて有効である（請求項14、15）。

【0148】なお、この場合も、上記の損失差補償器を分散補償器の前段に設ければ、分散補償器の前段（損失差補償器）で波長多重光信号のレベルを抑えることが可能となり、波長多重光信号のレベルを抑圧するための専用の回路を設けることなく、分散補償器への波長多重光信号の入力レベルが高すぎるために上記の分散補償に悪影響を与えることを防止することができる（請求項16）。

【0149】また、この損失差補償器も、上記の光伝送路、分散補償器および光増幅器がもつ各損失特性を等化しうる等化特性を有するように構成すれば、上記損失差の補償のための特別な制御を必要とせず、光伝送路に設けるだけで、極めて容易に、上記の光伝送路、分散補償器および光増幅器による損失差の補償を実現することができる（請求項17）。

【0150】次に、本発明の波長多重光伝送システムに使用される光デバイス用損失差補償器の設計方法によれば、波長多重光伝送システムに使用される光デバイスについての情報に対応して、当該光デバイスがもつ波長依存性の損失特性により生じる損失差を補償する損失差補

償特性についての情報を分類しておき、この分類の中から使用光デバイスに対応する損失差補償特性を選択し、その損失差補償特性を有する損失差補償器を設計するので、使用光デバイスに応じた最適な損失差補償特性をもった損失差補償器の種類を最小限に抑えることができる。従って、使用光デバイスに応じた損失差補償器を大量生産することができるので、損失差補償器の製造コストを削減することができ、これにより、構築する波長多重光伝送システムのコストも削減することができる（請求項18）。

【0151】ここで、上記の光デバイスが、光伝送路である場合は、その光伝送路についての情報に対応して、光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性により生じる損失差を補償する損失差補償特性についての情報を分類することにより、使用する光伝送路に応じた最適な損失差補償特性をもった損失差補償器を容易に設計することができる（請求項19）。

【0152】また、上記の光デバイスが、光伝送路と当該光伝送路に介装されてこの光伝送路がもつ分散特性により波長多重光信号に生じる分散を補償する分散補償器である場合は、光伝送路についての情報と分散補償器についての情報との組に対応して、光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性と分散補償器がもつ波長依存性の伝送損失特性とにより生じる損失差を補償する損失差補償特性についての情報を分類することにより、使用する光伝送路および分散補償器に応じた最適な損失差補償特性をもった損失差補償器を容易に設計することができる（請求項20）。

【0153】さらに、上記の光デバイスが、光伝送路と当該光伝送路に介装されて波長多重光信号を増幅する光増幅器である場合は、光伝送路についての情報と光増幅器についての情報との組に対応して、光伝送路がもつ波長依存性の伝送損失特性と光増幅器がもつ波長依存性の増幅損失特性とにより生じる損失差を補償する損失差補償特性についての情報を分類することにより、使用する光伝送路および光増幅器に応じた最適な損失差補償特性をもった損失差補償器を容易に設計することができる（請求項21）。

【0154】また、上記の光デバイスが、光伝送路と、当該光伝送路に介装されてその光伝送路がもつ分散特性により波長多重光信号に生じる分散を補償する分散補償器と、上記の光伝送路に介装されて波長多重光信号を増幅する光増幅器である場合は、光伝送路、分散補償器および光増幅器についての各情報の組に対応して、光伝送路、分散補償器および光増幅器がそれぞれもつ波長依存性の各損失特性により生じる損失差を補償する損失差補償特性についての情報を分類することにより、使用する光伝送路、分散補償器および光増幅器に応じた最適な損失差補償特性をもった損失差補償器を容易に設計することができる（請求項22）。

【0155】ここで、上記の損失差も、上記の波長多重光信号が、所定波長帯域（特に、1.55マイクロメートル帯を中心とした12ナノメートル）以上の広波長帯域を有している場合に顕著に現れ、波長多重光信号の伝送距離によっては無視できなくなるので、このような場合に、上記の損失差補償器を設計しておくことは極めて有効である（請求項23、24）。

【0156】また、上記の光デバイスについての情報と損失差補償特性を、波長多重光信号の伝送距離に応じて分類しておけば、損失差補償特性の種類を必要な伝送距離に応じて最小限に抑えることができるので、設計すべき損失差補償器の種類を削減することができ、損失差補償器のさらなる大量生産を図ることができる（請求項25）。

【0157】次に、本発明の波長多重光伝送システムの構築方法は、上記の設計方法により設計された損失差補償器を用いて波長多重光伝送システムを構築するので、使用光デバイスにより生じる各波長毎の光信号の損失差を補償することが可能な波長多重光伝送システムを極めて容易に、且つ、低コストで構築することができる（請求項26）。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態としての波長多重光(WDM)伝送システムの構成を示すブロック図である。

【図2】第1実施形態において光反射型のファイバブラッググレーティング(FBG)を用いた損失差補償デバイスの構成を示すブロック図である。

【図3】光反射型のFBGの形成方法を説明するための図である。

【図4】光反射型のFBGの模式的断面図である。

【図5】第1実施形態の損失差補償デバイスに用いられる反射型のFBGの模式的断面図である。

【図6】反射型のFBGの反射特性の一例を示す図である。

【図7】第1実施形態において光透過型のFBGを用いた損失差補償デバイスの構成を示すブロック図である。

【図8】光透過型のFBGの模式的断面図である。

【図9】第1実施形態の損失差補償デバイスに用いられる光透過型のFBGの模式的断面図である。

【図10】第1実施形態においてファブリペローエタロンフィルタを用いた損失差補償デバイスの構成を示すブロック図である。

【図11】第1実施形態において誘電体多層膜フィルタを用いた損失差補償デバイスの構成を示すブロック図である。

【図12】第1実施形態におけるファブリペローエタロンフィルタの構成例を示すブロック図である。

【図13】第1実施形態においてAOTFを用いた損失差補償デバイスの構成を示すブロック図である。

【図14】第1実施形態においてAOTFを用いた損失

差補償デバイスの構成を示すブロック図である。

【図15】第1実施形態の波長多重光(WDM)伝送システムの他の構成を示すブロック図である。

【図16】第1実施形態における損失差補償デバイスのメニュー化方法を説明するための図である。

【図17】本発明の第2実施形態としての波長多重光(WDM)伝送システムの構成を示すブロック図である。

【図18】第2実施形態のWDM伝送システムの要部の構成を示すブロック図である。

【図19】第2実施形態において反射型のFBGを用いた損失差補償デバイスの構成を示すブロック図である。

【図20】第2実施形態における損失差補償デバイスのメニュー化方法を説明するための図である。

【図21】本発明の第3実施形態としての波長多重光(WDM)伝送システムの構成を示すブロック図である。

【図22】第3実施形態における光増幅器の利得特性の一例を示す図である。

【図23】第3実施形態における損失差補償デバイスのメニュー化方法を説明するための図である。

【図24】本発明の第4実施形態としての波長多重光(WDM)伝送システムの構成を示すブロック図である。

【図25】第4実施形態における損失差補償デバイスのメニュー化方法を説明するための図である。

【図26】シングルモードファイバ(SMF)がもつ波長依存性の伝送損失特性を説明するための図である。

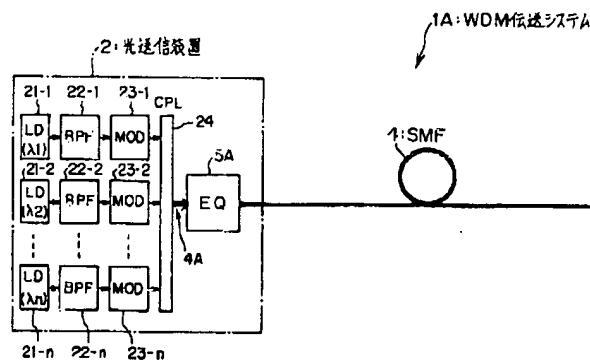
【図27】シングルモードファイバ(SMF)がもつ波長依存性の伝送損失特性を説明するための図である。

【図28】シングルモードファイバ(SMF)がもつ波長依存性の伝送損失特性によりWDM信号に生じる各波長毎の損失差を説明するための図である。

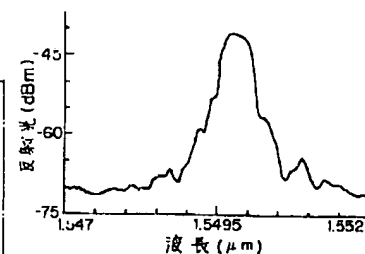
# 【符号の説明】

- 1A~1D 波長多重光(WDM)伝送システム
- 2 光送信装置
- 3 光受信装置
- 4 シングルモードファイバ(SMF: 光伝送路)
- 5A~5D 損失差補償器(光等化フィルタ, 損失差補償デバイス)
- 6 光サーキュレータ(光方向性結合器)
- 7, 7'-1~7'-N 光反射型のファイバブラッググレーティング(FBG)
- 7', 7'-1~7'-N 光透過型のファイバブラッググレーティング(FBG)
- 8 光ファイバ
- 10 コア
- 11 クラッド
- 12 ファブリペローエタロンフィルタ
- 13 誘電体多層膜フィルタ
- 14 音響光学チューナブルフィルタ(AOTF: Acousto-Optical Tunable Filter)
- 18A~18D メニューテーブル
- 21-1~21-n 光源(レーザダイオード: LD)
- 22-1~22-n バンドパスフィルタ(BPF)
- 23-1~23-n 変調器(MOD)
- 24, 31 光カプラ
- 32-1~32-n 光フィルタ(AOTF)
- 33-1~33-n 光受信器(OR)
- 41, 44, 45 光増幅中継器
- 42 分散補償ファイバ(DCF: 分散補償器)
- 43, 43', 46, 47 光増幅器
- 121 非球面レンズ
- 122 エタロン
- 123 ASE抑圧用バンドパスフィルタ(BPF)

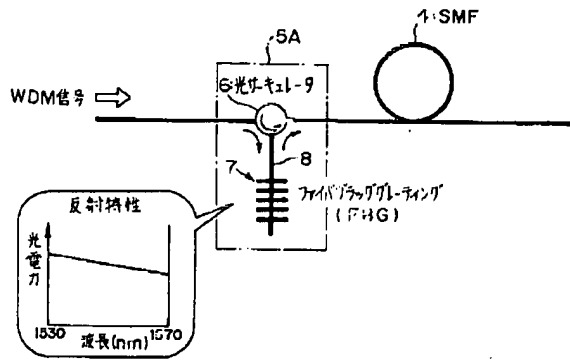
【図1】



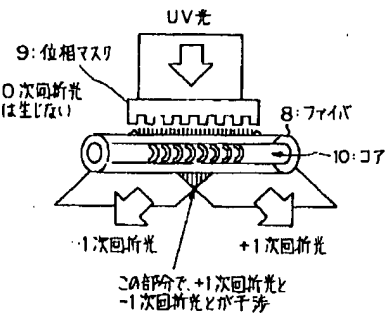
【図6】



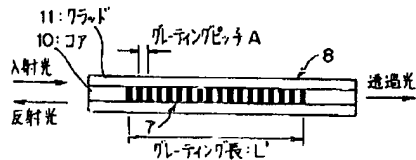
【図2】



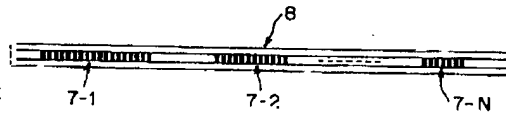
【図3】



【図4】

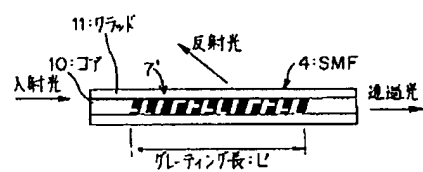
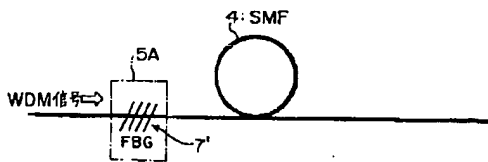


【図5】



【図8】

【図7】



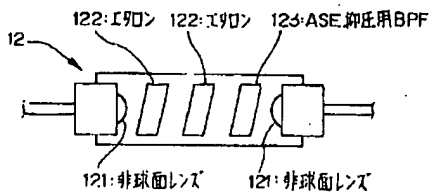
【図10】

【図11】

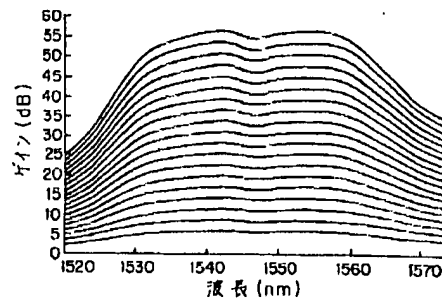
【図9】



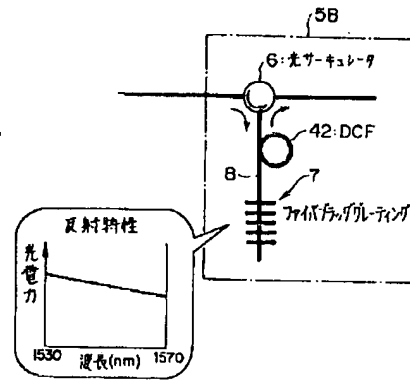
【図12】



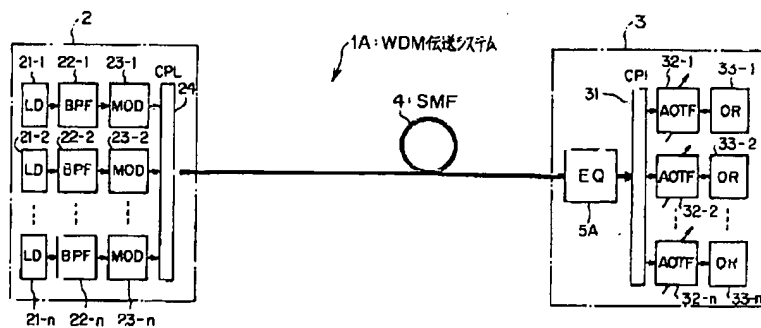
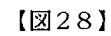
【図22】



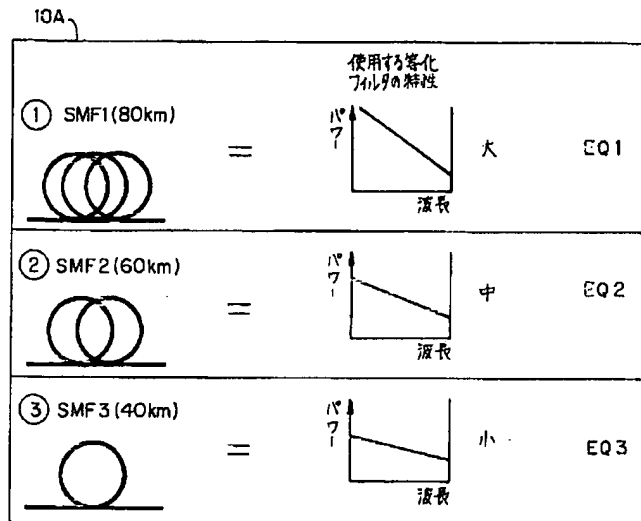
【図19】



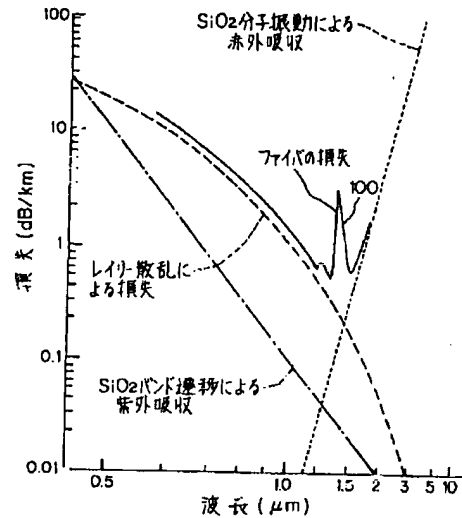
【图27】



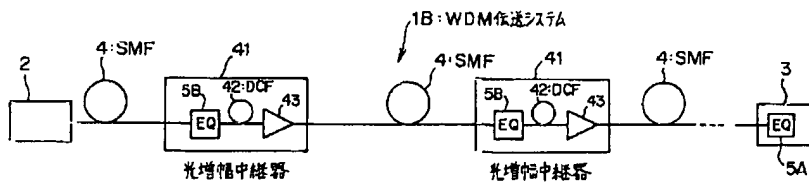
【図16】



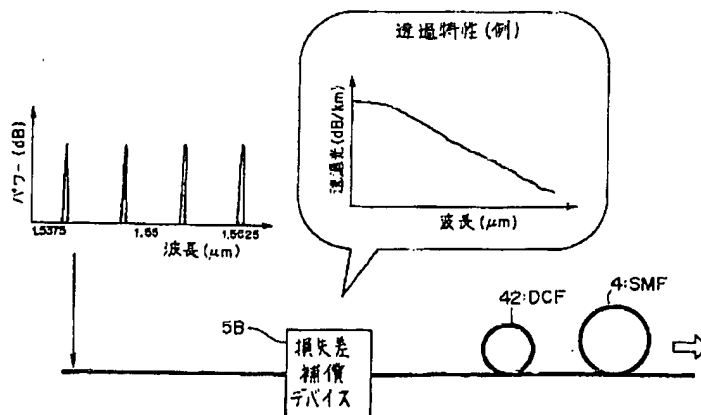
【图26】



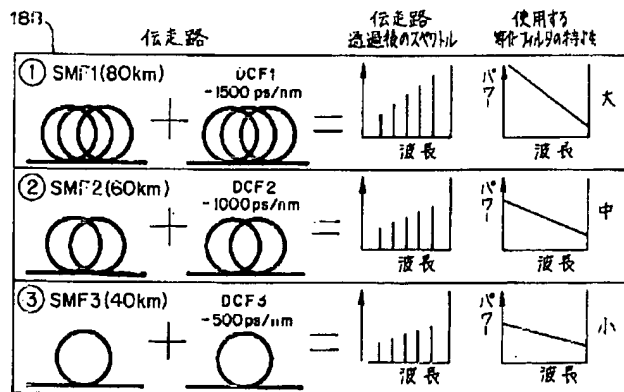
【図 17】



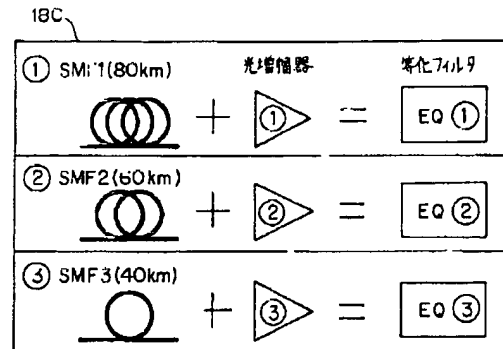
【图 18】



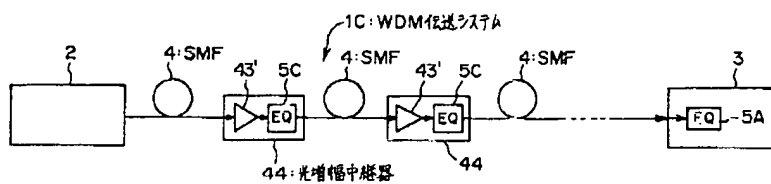
【図20】



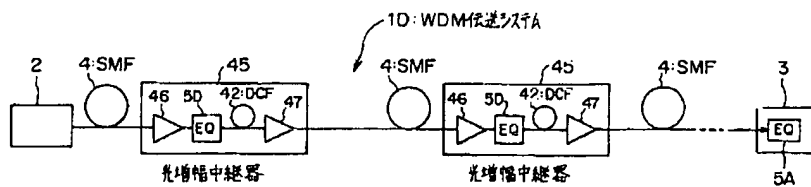
【図23】



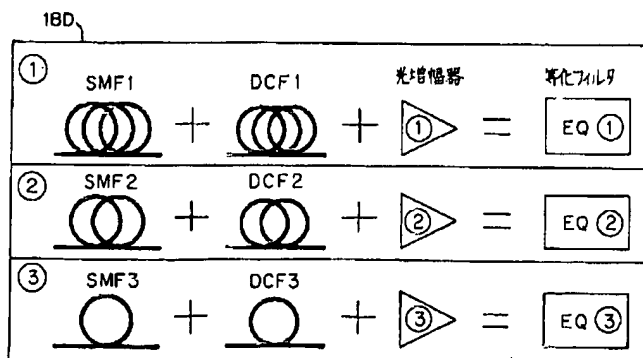
【図21】



【図24】



【図25】





フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 4 B 10/17

10/16